
COLUMBIA LIBRARIES OFFSITE
HEALTH SCIENCES STANDARD
HX64135365
QP111 .B23
Uber venen-elasticit


COLUMBIA UNIVERSITY
DEPARTMENT OF PHYSIOLOGY
THE JOHN G. CURTIS LIBRARY



Bardeleben, K.

ÜBER

VENEN-ELASTICITÄT.

VON

DR. KARL BARDELEBEN,
PROSECTOR UND PRIVATDOCENT IN JENA.

HIERZU EINE TAFEL.

Separatabdruck aus der Jenaischen Zeitschrift für Naturwissenschaft.
Bd. XII. Heft 1.

JENA,
GUSTAV FISCHER.
1878.

From Curtis collection

G. Pätz'sche Buchdruckerei (Otto Hauthal) in Naumburg a/S.

Die Ursache der Blutbewegung in den Venen der Wirbelthiere ist noch nicht vollständig erforscht — ebenso wenig wie die allgemein und speciell anatomischen Verhältnisse, d. h. die physikalischem Eigenschaften und der mikroskopische Bau der Venenwandung. Auf diesem, von der Forschung auffallend vernachlässigten Gebiete, die Lücken unsrer Kenntniss von Seiten der Anatomie, wenn nicht auszufüllen, so doch einzuengen, hat sich der Verfasser zur Aufgabe gestellt — zugleich in der Hoffnung, dass damit auch für die physiologische Forschung eine festere Basis für die entsprechende Untersuchung gewonnen werde. Und, wenn irgendwo, so hängen gerade hier Morphologie und Physiologie untrennbar zusammen, ein Umstand, der dem Verfasser zu Gute gehalten werden möge, wenn derselbe hier und da auf das Gebiet der Physiologie überzugreifen genöthigt wird. Es lässt sich ja darüber rechten, ob nicht überhaupt das gerade in den letzten Jahren mit so grossem Erfolge bebaute Gebiet der „mechanischen Anatomie“ mehr in die Physiologie als in erstere gehöre. Dem Verfasser scheint die mechanische Anatomie die gemeinsame Grundlage für die beiden Schwesterwissenschaften zu bilden und speciell die „Histophysik“, wie man es bezeichnen könnte, ebenso sehr ein integrirender Bestandtheil der allgemeinen Anatomie zu sein wie die Histochemie und „mikroskopische Anatomie“. Die Veranlassung zu der vorliegenden

Arbeit gaben die in dem Jubelwerk für C. Ludwig von Braune mitgetheilten Beiträge zur Kenntniss der Venenelasticität, die speciell für diese, wie das allgemeine Elasticitätsgesetz, werthvolle Aufschlüsse geben. Da der Herr Verfasser eine weitere Fortsetzung nicht beabsichtigt, habe ich mit gütiger Zustimmung desselben die Versuche aufgenommen — die Anregung hierzu verdanke ich Herrn Professor Schwalbe. Meine Ergebnisse weichen theilweise von denen Braune's ab — während andererseits aus beiden Arbeiten hervorgeht, dass wir noch in den ersten Anfängen einer Kenntniss von dem Wesen der Elasticität, zumal ihres Auftretens innerhalb organischer Körper uns befinden, und dass es die Aufgabe der „Physik", die allerdings bisher fast ausschliesslich anorganische ist, sein musste, der Anatomie und Physiologie eine festere Basis zu bauen, als es die physikalischen Kenntnisse auf diesem ebenso interessanten wie schwierigen Gebiete bisher haben sein können. So verlockend auch die weitere Verfolgung dieser Aufgabe erscheint, so muss ich darauf verzichten, sie selbst durchzuführen, um erst die rein morphologischen, histologischen Untersuchungen über den Bau der Venen zu vollenden, welche ich in Bälde in weiteren Mittheilungen vorzulegen gedenke. Diese Untersuchungen über Venen-Elasticität mögen daher als erster Beitrag zur Kenntniss des Venensystemes betrachtet werden.

I.

Für das Verständniss der unten weiter zu erörternden speciellen Elasticitätsverhältnisse der Venen und eine Beurtheilung meiner eigenen Untersuchungsergebnisse erscheint es geboten, zunächst die unter einander und von den meinigen abweichenden Ansichten und Resultate früherer Forscher nebst ihren Methoden kritisch zu beleuchten.

Während man früher das Verhältniss von Verlängerung oder Ausdehnung und Spannung oder Belastung, ohne Rücksicht auf Grösse und Zeit der letzteren, als constant angenommen hatte, wies bekanntlich W. Weber[1]) nach, dass nach der Anspannung im Verlauf längerer Zeit noch eine weitere Ausdehnung, die als

[1]) Ueber die Elasticität der Seidenfäden. Gött. gel. Anz. 1835. St. 8. Poggendorf Annalen, Bd. 34. 1835. S. 247—257.

Wirkung oder Function der Spannung zu betrachten sei, einträte: die „elastische Nachwirkung", — nicht mit der bleibenden „Dehnung" zu verwechseln, die auf kleinen dauernden Veränderungen des Aggregatzustandes beruht. Eine Dehnung tritt nämlich nur nach Vermehrung, nicht nach Verminderung der Spannung ein, dagegen die elastische Nachwirkung stets, bei vermehrter wie bei verminderter Spannung. Im ersteren Falle resultirt eine Zunahme, im letzteren eine Abnahme der Länge. Beide, die positive (+) und negative (—) Nachwirkung, wie ich sie nennen möchte, sind nach W. Weber für gleiche Spannungsunterschiede der Grösse nach gleich. Die zurückbleibende Dehnung wird bei Wiederholung derselben Versuche mit denselben Körpern immer kleiner, die elastische Nachwirkung bleibt dieselbe. Dadurch kann man also den Einfluss der Dehnung, nicht so den der Nachwirkung ausschliessen. Das von Gauss aufgestellte Gesetz: der Rest der von einem bestimmten Augenblicke an noch zu erwartenden Verlängerung oder Verkürzung ist der bis zu diesem Moment verflossenen Zeit umgekehrt proportional, wonach also die Curve des zeitlichen Verlaufes der elastischen Nachwirkung eine gerade Linie wäre, gilt für, mit feineren Hülfsmitteln angestellte Versuche nicht mehr, wie dies gleichfalls W. Weber[1]) nachgewiesen hat. Die Gleichgewichtslage des zu den Experimenten benutzten schwingenden Seidenfadens wurde nur „mit der Zeit", vielleicht niemals vollkommen erreicht, d. h. die Curve nähert sich dem Grenzwerth asymptotisch.

Was zur Herstellung dieses vollkommenen Gleichgewichtes nothwendig sei, entzieht sich unseren Sinnen. Weber glaubte eine für jede Spannung bestimmte Stellung der Elasticitätsaxen der kleinsten Theile gegen einander, die nur sehr langsam eintrete, dafür verantwortlich machen zu können. Dieser der Beobachtung sich entziehende Unterschied in der Stellung der Elasticitätsaxen der kleinsten Theile von derjenigen der vollkommenen Gleichgewichtslage ist ihm die Ursache der Nachwirkung. Von diesem Unterschied muss sowohl die Geschwindigkeit der Längenänderung, als auch der ganze Längenunterschied in seiner Gleichgewichtslage und in dem Augenblicke der Beobachtung abhängen. Dieser Augenblick trennt die ganze Wirkung in

---

[1]) Ueber die Elasticität fester Körper. Poggendorf Annalen. Bd. 54. 1841. S. 1—18.

eine primäre und secundäre und, je früher man beobachtet, desto kleiner wird der primäre Antheil, so dass wir schliesslich dahin gelangen können, die primäre Wirkung ganz verschwinden, gleich Null werden zu lassen, so dass die ganze Längenänderung des Körpers keine unmittelbare Wirkung der plötzlich veränderten Spannung des Fadens, sondern nur eine mittelbare, secundäre wäre. Jedenfalls erhellt, dass Aenderung der Spannung und Aenderung der Länge in keinem unmittelbaren Zusammenhang stehen, und dass sie nicht einmal gleichzeitig eintreten. — Die Zeit nun, in welcher der Grenzwerth der Verlängerung erreicht wird, ist bei verschiedenen Körpern sehr verschieden, bei Metallen fast unmessbar klein, bei organischen Körpern beträgt sie einen oder mehrere Tage!

Während also W. Weber zuerst den Begriff der elastischen Nachwirkung fixirte und analysirte, kam wenige Jahre später Ed. Weber durch Versuche an Muskeln (Frosch) zu dem Ergebniss, dass diese schon durch kleine Gewichte sehr beträchtlich ausgedehnt werden, dass aber diese Ausdehnung nicht in gleichem Masse bei stärkeren Belastungen zunehme, hier also der Widerstand gegen die Ausdehnung wachse.

Ich kann nicht annehmen, dass die ein Jahrzehnt vor Ed. Weber's Untersuchungen von dem Göttinger Bruder über die elastische Nachwirkung gemachten Mittheilungen dem ersteren unbekannt geblieben seien. Erwähnt wird die Nachwirkung allerdings nicht, — und es handelte sich doch um Belastungen des M. hyoglossus vom Frosch mit Gewichten bis zu 30 Gramm, wobei eine Ausdehnung von einer Anfangslänge von fast 25 bis auf über 40 Mm., also um ungefähr 60 % erzielt wurde.

Die von E. Weber (a. a. O. S. 109) gegebene Tabelle weist allerdings in ihren Zahlen einige Abweichungen von einer regelmässigen Längenzunahme bei zunehmender Belastung auf, wie das besonders in die Augen fällt, wenn man sich aus den mitgetheilten Zahlen die Curve construirt [1]). Auch lehrt der Vergleich der Zahlen, dass entweder die elastische Nachwirkung oder die bleibende Dehnung oder aber beide Momente nicht genügend beachtet wurden.

---

[1]) Es ist das Einfachste, ein rechtwinkliges Parallelcoordinatensystem zu wählen, auf dessen Abscissenaxe man die Belastung aufträgt, während die Verlängerungen durch die Ordinaten dargestellt werden.

Wertheim[1]), der Knochen, Sehnen, Nerven, Arterien und Venen untersuchte, hat gleich E. Weber sich gegen die Proportionalität von Längen- und Gewichtszunahme erklärt, — er hat, und zwar bekannt mit der Thatsache der elastischen Nachwirkung, zuerst die Ausdehnungscurve für eine der Hyperbel sehr nahe stehende Linie erklärt.[2]) — Erst wenn die elastischen und bleibenden Verlängerungen sehr gross werden, wachsen dieselben in einem bedeutend geringeren Grade, — eine Erscheinung, die Wertheim auf die Nachwirkung (allongements secondaires), gewiss mit Recht, bezieht. Von Venen hat Wertheim nur die V. femoralis (2 Mal) und die V. saphena, alle drei von weiblichen Leichen stammend, untersucht. Wundt[3]) hat gegen die Versuche Wertheim's eingewandt, das Letzterer kein „frisches" Material benutzt habe. Dagegen ist zu bemerken, dass es für menschliche Gewebe überhaupt unmöglich ist, „frisches", Verf. möchte statt dessen lieber sagen, „lebendes" Material zu verwenden; ferner aber dürfte dies Moment bei Venen unendlich weniger in's Gewicht fallen, als z. B. bei Muskeln, und schliesslich hat Wertheim, der diesen Vorwurf selber fürchtete, durch vergleichende Versuche an einer frischen und einer 5 Tage alten V. jugularis ext. des Hundes nachgewiesen, dass der Einfluss der Verwesung hier ein sehr unbedeutender ist. Wenn Wertheim's Zahlen genau sind, so hat sich sogar die 5 Tage alte Vene bei kleineren und mittleren Belastungen mehr ausgedehnt als die frische; nach Wundt hätte eine geringere Ausdehung stattfinden müssen, da die Elasticität nach dem Tode zunehmen soll. Nur bei sehr starker Belastung geht die Curve für die alte Vene flacher. Da dieser Punkt von grosser Bedeutung für meine eigenen Untersuchungen, lasse ich die betreffenden Zahlen (l. c. S. 414) folgen:

---

[1]) Mémoire sur l'élasticité et la cohésion des principaux tissus du corps humain. Extrait in Comptes rendus, P. 23. 1846. S. 1151—1154. Ausführlich in Annales de Chemie et de Physique, 3. Sér. T. 21. 1847. S. 385—414.

[2]) „. . . les parties molles du corps dans leur état naturel d'humidité; la loi de leurs allongements est réprésentée par une courbe qui se rapproche beaucoup d'une hyperbole dont le sommet serait placé à l'origine des coordonnés."

[3]) Ueber die Elasticität feuchter organischer Gewebe. Archiv f. Anat. u. Phys. 1857. S. 298—308.

Vena jugularis externa vom Hund:

A.		B.	
			nach 5 Tagen:
a.	b.	a.	b.
Belastung (in Kilogr. auf den □Mm.)	Ausdehnung in Mm. (auf ein Meter berechnet)	Belastung (in Kilogr. auf den □Mm.)	Ausdehnung in Mm. (auf ein Meter berechnet)
0,0121	507	0,0117	561
0,0242	543	0,234	598
0,0363	560	0,358	621
0,0484	577	0,0468	625
0,1218	683	0,1208	653

Die Belastungen bei A und B sind fast dieselben, ja bei B noch etwas grösser, so dass die Zahlen unter B,b noch etwas vergrössert werden müssen, um mit denen bei A,b verglichen zu werden. Man sieht, nur bei 120,8 Gr. Belastung dehnte sich die alte Vene weniger aus, als die frische, nämlich um 2,4 %, wenn wir die Gewichtsdifferenz 121,8 : 120,8 berücksichtigen. Ob Wundt's fernere Einwände gegen Wertheim, nämlich dass derselbe der Verdunstung nicht vorgebeugt und die Nachwirkung vernachlässigt habe, — berechtigt sind, wage ich nicht zu entscheiden. Praktisch dürfte es allerdings auch für diese beiden Punkte ausserordentlich schwer, ja fast unmöglich sein, den Anforderungen zu genügen, die an eine mathematisch-exacte Methode gestellt werden könnten. Wollten wir, und das muss auch ich pro domo sagen, alle solche Bedenken walten lassen, so dürften überhaupt recht wenige biologische Untersuchungen vor dem Richterstuhl der Kritik bestehen. Uebrigens war es auch Wertheim nicht unbekannt, dass der Elasticitätscoefficient durch Austrocknung zunimmt („Par la dessiccation toutes les parties augmentent d'élasticité"..., l. c. S. 396).

Wundt behauptet nun gegen Wertheim und E. Weber, dass die endliche Verlängerung der Gewebe dem dehnenden Gewichte bei kleinen Gewichten proportional sei (Archiv f. Anat. 1857. S. 303), — ja auch die momentane Dehnung feuchter Gewebe sei dies innerhalb gewisser Grenzen der Belastung. Und S. 306 heisst es: das Gesetz der Proportionalität ist nur innerhalb enger Grenzen der Belastung gültig, diese Grenzen erweitern sich desto mehr, je frischer die Gewebe, je weniger sie durch vorangegangene Belastungen verändert sind. Danach

wären die „engen“ Grenzen pathologisch und die Norm: weite, oder bei lebenden Geweben gar keine Grenzen, d. h. die Curve eine gerade Linie. Aber nicht einmal für starre unorganische Körper gilt die Proportionalität über „gewisse“ Grenzen hinaus, die sich noch dazu um so näher rücken, je genauer die Messungsmethoden sind; auch hier bringt bedeutendere (und ich möchte hinzusetzen, länger einwirkende) Belastung wahrscheinlich eine Aenderung in dem Molekularzustand des Körpers hervor, der die Elasticität alterirt. —

A. W. Volkmann[1]), welcher die Elasticität verschiedener organischer Körper (Seide, Haar, Arterie, Nerv, Muskel) untersuchte, beobachtete die Longitudinalschwingungen bei der Belastung, welche sich am Kymographion aufzeichneten. Er suchte die Nachwirkung dadurch zu eliminiren, dass die Zeit für alle Nummern einer und derselben Versuchsreihe die nämliche war (0,162—0,432″); der Factor der Nachwirkung sollte hierdurch insofern wegfallen, als dieser in derselbenZeit immer gleich gross supponirt wurde, was allerdings für verschiedene Belastungsgrössen nicht zutrifft. Auch Volkmann lässt Beobachtung und Rechnung für Hyperpeln „recht leidlich“ stimmen; nur für Muskeln sei b in der Formel:

$$y^2 = ax + bx^2$$

negativ, „ein Beweis, dass man es hier mit Ellipsen zu thun hat“ — also bei steigenden Gewichten eine Verkürzung im 2. Quadranten!

Diesen letzteren Einwand hat schon Wundt in einer dritten Publication[2]) gegen Volkmann gemacht, ebenso den betreffs der Eliminirung der Nachwirkung, s. o. Wundt stellt nun zum Beweise der Proportionalität zwischen Verlängerung und Gewichtszunahme bei organischen wie unorganischen Körpern 4 eigene Versuche an Sehne, Nerv, Arterie, Muskel und 4 Wertheim'sche an Kupfer, Eisen, Gold, Silber zusammen.

Ich kann nun beim besten Willen keine Proportionalität, weder bei den organischen noch den unorganischen Stoffen, aus den Zahlen entnehmen. Die Abweichungen von einer proportiona-

[1]) Ueber die Elasticität der organischen Gewebe. Archiv. f. Anat. und Phys. 1859. S. 293—313.

[2]) Ueber die Elasticität der organischen Gewebe. Verhandl. d. naturhist.-medic. Vereins zu Heidelberg. Bd. II. 1860. S. 33—42. (Henle u. Pfeufer, Zeitschr. f. rat. Medicin 3. S. VIII. S. 267.)

len Zunahme, also wenn wir es graphisch betrachten, von der geraden Linie sind sehr beträchtliche, es gibt Gleichungen 2. und 3. Grades, selbst wenn wir bedeutende Beobachtungsfehler zulassen. Weiteres hierüber s. unten.

Wundt entwickelt aus der Gleichung

$$f(\varrho + e) = -p,$$

in der ϱ der Abstand zweier sehr naher Punkte eines Körpers, die zwischen denselben wirkende Kraft als eine Function von ϱ, die entgegen wirkende Kraft = (— p) und die durch dieselbe hervorgerufene Vergrösserung des Abstandes (ϱ) = e gesetzt ist, — nach den Taylorschen Theorem:

$$f(\varrho) + e\, f_I(\varrho) + \frac{e^2}{2} f_{II}(\varrho) + \frac{e^3}{6} f_{III}(\varrho) + \ldots = -p$$

Bei p = 0 ist dann e = 0 und f (ϱ) = 0 und:

$$e\, f_I(\varrho) + \frac{e^2}{2} f_{II}(\varrho) + \frac{e^3}{6} f_{III}(\varrho) + \ldots = -p.$$

Bei kleinen Veränderungen des Abstandes darf man das 2. und 3. Glied vernachlässigen, so dass dann: $e\, f_I(\varrho) = -p$ resultirt, während, wenn e grösser werde, die folgenden Glieder berücksichtigt werden müssen, aus der linearen eine Gleichung höheren Grades wird. Bei zwei Gliedern würde sich eine Hyperbel (?! Verf.) ergeben, die sonach nur einen speciellen Fall des allgemeinen Gesetzes bilde. Durch eine derartige allgemeine Formel können wir aber, denke ich, alles Mögliche ausdrücken — nicht nur das Elasticitätsgesetz — und so scheint mir zu viel bewiesen zu werden.

W. Preyer[1]) hält nach den Volkmann'schen Experimenten, deren Originalhandschriften er benutzen konnte, „die logarithmische Linie für bedeutend wahrscheinlicher, als die Ellipse," (S. 105) — zunächst für Muskeln.

Preyer stellt nach Berechnungen, deren Grundlage Volkmann's Versuche (s. o.) waren, für den ruhenden Muskel das Dehnungsgesetz auf:

$$d = c \log \text{nat}\, \beta\, p,$$

worin c und β Constante, p das Gewicht ist. Ich muss die oben bereits geltend gemachte, schon von Wundt beigebrachten Ein-

¹) Das myophysische Gesetz. Jena 1874. S. 103—114.

wände gegen Volkmann's Versuche betreffend die geglaubte Eliminirung der Nachwirkung, hier wiederholen; ausserdem aber sind die Zahlen, wie die danach von mir construirten Curven evident zeigen, so wenig einem regelmässigen Gesetze entsprechend, dass ich ihnen durchaus keine so allgemeine Gültigkeit wie Preyer vindiciren kann. Wenn z. B. in der 43. Versuchsreihe die Länge des Muskels für Belastung von 12, 16 und 20 Gramm ein und dieselbe bleibt, so muss ein Fehler vorliegen! In Versuchsreihe 42 dehnt sich der Muskel während der Dauer der 10 Versuche um 0,5, in Reihe 44 nach 12 Versuchen um 3,7 Mm, — ein bedenklicher Umstand, der doch nur auf Nachwirkung oder bleibende Dehnung bezogen werden kann.

Einige von Horvath[1]) bei Fick in Würzburg angestellte Versuche mit Strängen und Schläuchen von vulkanisirtem Kautschuk ergaben allgemeiner interessante Resultate, auf die ich gleichfalls noch zurückkomme. Horvath fand nämlich, dass die Ausdehnung auch hier nicht proportional der Belastung sei, sondern dass dieselbe bei kleineren und mittleren Gewichten (bis 64 resp. 71 Gramm auf den □ Mm. nach meiner Rechnung, Verlängerung um 198—235%) zunimmt, um dann wieder abzunehmen; die Curve würde Anfangs also mit positivem, später mit negativem 2. Differentialquotienten verlaufen.

In der bereits erwähnten Abhandlung theilt Braune[2]) folgende Ergebnisse mit: (S. VII) „Nahezu dasselbe Resultat (wie Wundt) ergaben meine Untersuchungen, die nach gleichem Princip angestellt wurden, bei einer Belastung von nur wenigen Grammen." Erst bei stärkerer Belastung verläuft die Curve gegen die Abscisse concav. Näheres über die Form der Curve gibt Braune nicht an. Durch Anwendung starker Belastungen (bis 1000 Gr.) überzeugte derselbe sich ferner, dass „die Elasticität normaler Venen selbst bei grossen, aber kurz dauernden Belastungen eine vollkommene bleibt." Vollkommene Elasticität zeigten die verschiedenen Venen desselben wie besonders verschiedener Individuen in ausserordentlich wenig übereinstimmender Weise, wie die tabellarische Zusammenstellung aus Braune's und meinen eigenen Untersuchungen (s. unten) zeigt.

---

[1]) Dr. A. Horvath aus Kieff, Zur Lehre von der Elasticität. Centralblatt f. d. medic. Wissensch. 1873. Nr. 48. S. 753—758.

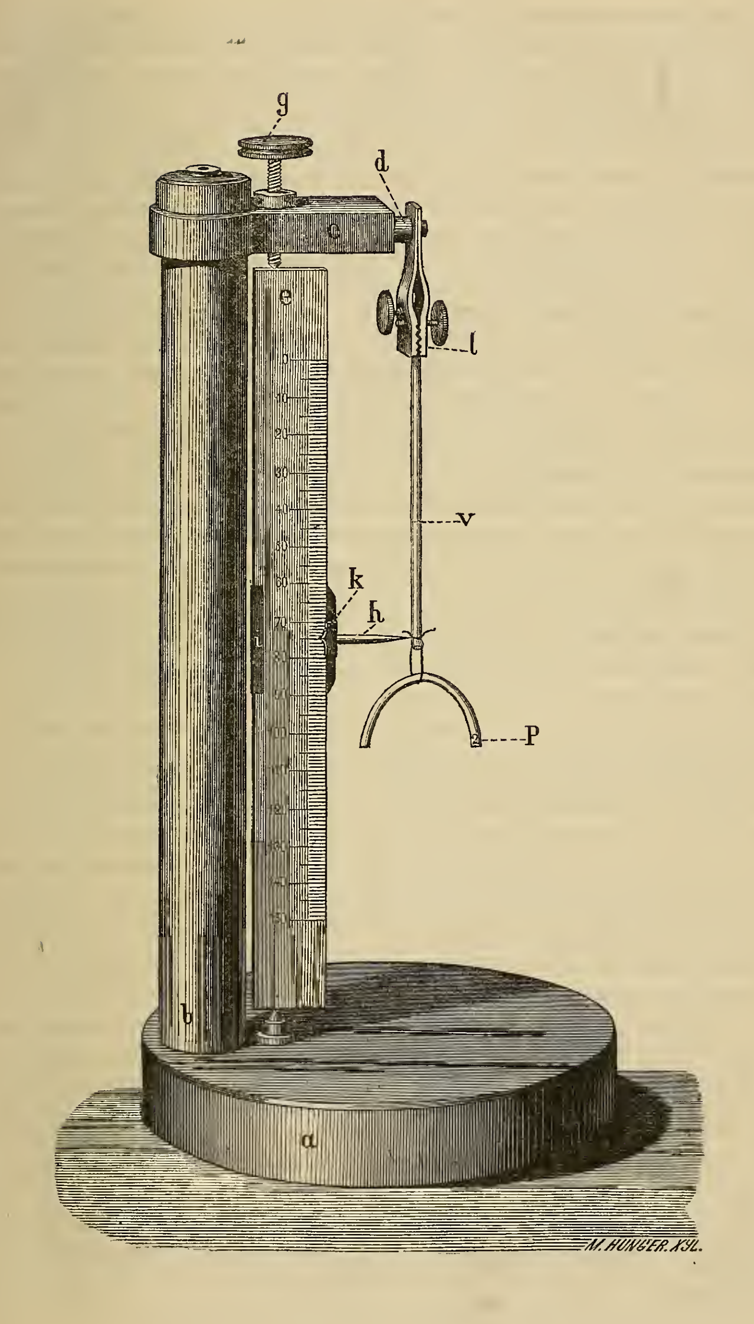
[2]) Beiträge zur Kenntniss der Venen-Elasticität. In: Beiträge zur Anatomie und Physiologie, C. Ludwig gewidmet. 1874. S. I—XXIV. Mit 3 Tafeln. (Eine mit Curven.)

Was die Methode Braune's betrifft, so benutzte derselbe möglichst frische menschliche Venen, die an beiden Enden auf Holz- oder Korkstöpsel aufgebunden waren; die Vene hing an einem Haken im oberen, die Gewichte an einem desgleichen im unteren Stöpsel, die Nadel zum Ablesen befand sich ausserhalb der Vene, so dass, wenn Verschiebungen der Stöpsel an der Vene ausgeschlossen waren, die beiden Enden des Gefässes, deren Länge gleich der der Stöpsel war, an einer Ausdehnung verhindert waren, demnach nicht hätten mitgerechnet werden dürfen. Oder aber es traten Verschiebungen ein, — dann war eine entgegengesetzte Fehlerquelle eröffnet. Im ersteren Falle sind die Werthe für die Verlängerung kleiner, im letzteren grösser abgelesen worden, als sie waren. Ferner möchte ich auf die Unsicherheit einer Ablesung hinweisen, wie sie an einer freischwebenden Nadelspitze gemacht werden kann, abgesehen von unbeabsichtigten Verlängerungen oder Verkürzungen, welche bei einer Berührung mit dem Massstabe kaum zu vermeiden sind. Schliesslich aber scheint mir die Belastungszeit von 10—15 Secunden, noch mehr die gleich lange Entlastungszeit zu kurz zu sein, um die positive oder negative Nachwirkung (vgl. oben) in ihr Recht treten zu lassen.

II.

Eigene Untersuchungen.

Aus mehreren Gründen beschränkte ich mich auf die Untersuchung menschlicher Venen und zwar solcher der Extremitäten; mit einer Ausnahme (II, 1) waren es sämmtlich oberflächliche oder Haut-Venen. Die Methode war ähnlich der von Braune angewandten, das Princip, die Verlängerung bei Belastung mit steigenden Gewichten direct zu messen, dasselbe wie dort. Nur habe ich versucht, eine Reihe von Fehlerquellen zu vermeiden — soweit es eben einerseits die mir zu Gebote stehenden Mittel, andererseits die eigenthümlichen Verhältnisse des Untersuchungsmaterials und collidirende physikalische Gesetze erlaubten. Zu dem Behufe liess ich mir unter Beirath des Herrn Professor Abbe bei Zeiss hierselbst ein besonderes Instrument anfertigen, dessen Beschreibung nebst Abbildung hier folge.


g
d
c
e
l
v
k
h
i
P
b
a
M. HUNGER. XYL.

Auf einem kreisrunden, 2,8 Cm. hohen, eisernen Fuss, a (von 12 Cm. Durchmesser) erhebt sich am Rande eine 23 Mm. dicke Messingsäule, b, von 22,5 Cm. Höhe, an deren oberem Ende ein 65 Mm. langer, 20 Mm. breiter und 10 Mm. dicker Messingbalken, c, horizontal (galgenähnlich) vorragt. An letzterem befindet sich ein 14 Mm. langer, 7 Mm. dicker cylindrischer stählerner Knopf, d, der sich an einer Stelle verjüngt, um schliesslich knopfförmig wieder anzuschwellen. Dieser Vorsprung, an dem die Venen (s. u.) aufgehängt wurden, ist, wie die Beobachtung an der gleich zu erwähnenden Schraube zeigte, innerhalb der hier überhaupt anwendbaren Belastungen absolut unbeweglich gegen den senkrechten Cylinder und dieser wiederum ruht vermittelst des breiten und schweren Fusses unbeweglich auf der Unterlage. Den Massstab e wünschte ich möglichst fest in Bezug auf Höhen- und Seiten-Verschiebungen, dagegen beweglich, um seine eigene Axe,' um durch Drehung einmal Platz für die Manipulation der Belastung und Entlastung zu gewinnen, andererseits für die Ablesung ihn möglichst bequem stellen zu können. Er wurde deshalb zwischen zwei stählerne conische Zapfen eingelenkt, von denen der untere, f, am Fuss des Instrumentes festsitzt, während der obere einer durch den horizontalen Aufhängebalken senkrecht hindurchtretenden Schraube, g, angehört, die je nach Bedarf durch Umdrehung um wenige Hundertstel eines Millimeters gehoben werden kann, um leichtere Drehung des Massstabes zu gestatten. Es erschien mir nun ferner vortheilhaft, wenn die Nadelspitze, an der abgelesen werden sollte, sich nicht beweglich an der Vene oder aber ausserhalb derselben an einem Kork oder ähnlichem sich befinde, sondern an dem Massstabe befestigt, natürlich aber verschiebbar sei. Dies wurde in der Weise ausgeführt, dass der zugespitzte Eisenstab, h, an eine den Massstab genau zwischen sich fassende Klammer, i, angebracht wurde, die auf- und abgeschoben werden kann, ohne dass die Nadelspitze messbar von der horizontalen abweicht, welche von ihr nach einer zweiten, an der Klammer befindlichen Spitze gezogen wird. Letztere, k, wiederum befindet sich direct vor der Skala des Massstabes, so dass selbst ohne weitere Vorsichtsmassregeln parallaktische Ablesungsfehler kaum möglich waren. Die Befestigung des oberen Venenendes geschieht durch eine mit Schraube versehene Klemme, l, deren unteres glatt abgeschnittenes Ende genau in gleicher Höhe mit dem Nullpunkt des Skala steht. Die Klemme hängt genau senkrecht, der untere Rand genau wagerecht. Die Skala ist in Millimeter getheilt, so dass mit blossem Auge oder der Loupe (mit Berücksichtigung der Parallaxe) bequem $^1/_{10}$ Mm. geschätzt werden können.

Die Befestigung kleinerer Gewichte (genau abgewogene Drahtstücke) geschah durch Seidenfäden, für grössere Belastungen bediente ich mich einer 13,500 Gramm wiegenden, der oberen ähnlich construirten Klemme. Die Befestigung des Seidenfadens und die Fixirung der an seinem oberen Rande an der Vene angebrachten Marke war für diese kleinen Belastungen gewiss mehr als ausreichend, und an der Klemme war wiederum ein genau horizontal gestellter Rand, der die Nadelspitze am Massstab berühren konnte, aber nicht brauchte. Eine Berührung zwischen Spitze und Marke ist in Folge der Drehbarkeit des Massstabes ganz in das Belieben des Untersuchenden gestellt, unliebsame Reibungen der einen an der anderen dadurch ein für alle Mal ausgeschlossen. —

Die Ausführung der Versuche geschah folgendermassen: Die Venen wurden möglichst bald nach dem Tode aus der Leiche genommen, ohne Quetschung, aber auch möglichst isolirt von fremden Bestandtheilen, und entweder sofort untersucht oder, wenn dies nicht möglich war, in Jodserum von äusserst schwachem Jodgehalt gelegt und während der Belastungen fortdauernd durch leises Bepinseln mit Jodserum vor Eintrocknung geschützt, die überdies durch die mässige Temperatur des Zimmers und das kühle, feuchte Wetter nichts weniger als begünstigt wurde. —

Die Venenstücke wurden möglichst lang genommen, ein sehr natürliches Bestreben, dem aber nur unter Rücksichtnahme auf die Höhe des Instruments und die erforderliche Homogenität des Stückes (Aeste u. a.) gewillfahrt werden konnte.

Die Belastungen waren anfangs sehr klein, — nur um 0,1 Gramm steigend, — kleiner als in allen mir bekannt gewordenen Versuchen. Die Ablesung an der Skala geschah ausser durch mich noch durch einen Assistenten, Herrn Cand. med. Werner, — und zwar unabhängig von einander, — bei Differenzen um $^1/_{10}$ oder $^1/_{20}$ Mm. wurde gemeinsam nochmals sorgfältig geprüft und eventuell ein Compromiss geschlossen, so dass wohl die Fehler der persönlichen Gleichung unbedeutend geworden sind.

Die Zeit, welche zwischen Belastung und Ablesung lag, war schon deshalb eine relativ bedeutende, weil stets erst der Schieber mit der Spitze gerade in die Höhe der Marke gebracht werden musste, so dass bei kleinen und mittleren Belastungen die Nachdehnung, soweit das mit Rücksicht auf die doch aus anderen Gründen wieder wünschenswerthe baldige Hintereinanderfolge der einzelnen Versuche möglich erschien, im Wesentlichen mit beobachtet wurde. Nach jeder Ablesung wurde entlastet, bei kleinen und mittleren Gewichten vollständig (abgesehen von dem Seidenfaden und dem halben Gewicht der Vene, wenn sie nicht mit der oberen Klemme abgenommen und horizontal gelegt wurde) — nach grösseren bis auf das Gewicht der unteren Klemme (13,5 Gramm).

Die Versuchsreihen, welche ich angestellt habe, theile ich hier nicht sämmtlich in extenso mit. Bei der grossen Uebereinstimmung der Versuchsreihen unter einander dürften die hier gegebenen genügen, um die von mir zu ziehenden Schlüsse zu rechtfertigen. Da ich jedoch betreffs Einzelheiten auch auf die hier nicht mitgetheilten Reihen mich beziehen muss, habe ich den Versuchs-

reihen die ursprünglichen Nummern belassen, um Verwechslungen zu vermeiden. Ebenso haben die Curven der Einfachheit halber die gleichlautenden Bezeichnungen behalten, wie die Protokolle, welche sie graphisch versinnbildlichen.

In den nachfolgenden Versuchsprotokollen enthält die erste Columne die Versuchsnummern, die zweite die angewandten Gewichte, die dritte die jedesmalige Differenz von zwei aufeinander folgenden Belastungen, die vierte die Länge der Vene während der Belastung, die fünfte die betr. Längendifferenz für die Gewichtsdifferenzen in Columne 3, die sechste die Differenz gegen die Anfangslänge (bei 0,0 Gramm Belastung), die siebente die Ausdehnung in Procenten, die achte die Länge gleich nach der Entlastung, die neunte Bemerkungen.

Die Gewichte sind in Grammen, die Längen in Millimetern angegeben.

Die Curven III, IV, VI und VIII auf Tafel I gehören zu den gleichnamigen Versuchsprotokollen. Die Curven sind auf Millimeterpapier (papier quadrillé) eingezeichnet, und zwar nach den Procentzahlen in Columne 7 der Tabellen, die Gewichte sind auf der Abscissen-, die procentischen Verlängerungen auf der Ordinatenaxe dieses rechtwinkligen Coordinatensystems aufgetragen. Der 0 Punkt des Systems repräsentirt demnach den Zustand der Vene von 100,0 Mm. Länge bei 0,0 Gramm Belastung, d. h. also, ganz genau genommen, bei Belastung mit dem halben Eigengewicht. Der Massstab ist: 10 Mm. = 5,0 Gramm Belastung auf der Abscissen-, = 5 % Zunahme auf der Ordinatenaxe. Bei Curve III ist ein anderer Massstab für erstere Axe genommen, nämlich 10 Mm. = 1,0 Gramm Belastung; Curve VI ist in sehr stark vergrössertem Massstabe ausgeführt und zwar nach den Zahlen in Col. 6, so dass für den Coordinaten-Anfang die ursprüngliche directe Länge (15,8 Mm.) = 0 gesetzt ist. Die direct beobachteten Zunahmen sind als Ordinaten in 10facher Vergrösserung dargestellt (10 Mm. = 1 Mm. Zunahme), die Gewichte so, dass 50 Mm. = 1,0 Gramm Belastung sind.

Leiche A.

Selbstmörder in den dreissiger Jahren, Tod am 9., die Versuche am 11. und 12. Mai. Untersucht wurden die V. saphena magna am Unter- und Oberschenkel, sowie ein Ast derselben an letzterem, ferner die V. cephalica vom Unterarm und die V. basilica am Oberarm.

Versuchsreihe III.

Hautvene, Ast der V. saphena magna, von der Innenseite des Oberschenkels, 2 Mm. im Durchmesser. Den 12. Mai, Morgens. Vene liegt seit fast 24 St. in Jodserum, bei Temperatur von 5—7° R. Während der 3 St. dauernden Versuche ist die Zimmertemperatur 15—14° R. Dauer des einzelnen Versuches ca. 4 Minuten. Regelmässige Anfeuchtung. Die Länge der Vene 5 Min. nach der Entlastung nach Versuch Nr. 43 entspricht einer Belastung mit fast 0,2 Gramm.

1. Nr. des Versuches.	2. Belastung.	3. Differenz derselben.	4. Länge bei Belastung.	5. Differenz derselben.	6. Differenz gegen Anfangslänge.	7. Ausdehnung auf 100.	8. Länge gleich nach der Entlastung.	9. Bemerkungen.
1	0,0		45,6		0,0	0,00	45,6	
2	0,1	0,1	46,9	1,3	1,3	2,85	45,7	
3	0,2	—	48,15	1,25	2,55	5,59	46,1	
4	0,3	—	49,3	1,15	3,7	8,11	46,1	
5	0,4	—	50,2	0,9	4,6	10,09	46,3	
6	0,5	—	51,0	0,8	5,4	11,84	46,3	
7	0,6	—	52,0	1,0	6,4	14,04	46.3	
8	0,7	—	52,9	0,9	7,3	16,01	46,3	
9	0,8	—	53,8	0,9	8,2	17,98	46,3	
10	0,9	—	54,5	0,7	8,9	19,52	46,5	
11	1,0	—	55,1	0,6	9,5	20,85	46,5	
12	1,1	—	55,6	0,5	10,0	21,93	46,8	
13	1,2	—	56,2	0,6	10,6	23,25	47,0	
14	1,3	—	56,7	0,5	11,1	24,34	47,0	
15	1,4	—	57,15	0,45	11,55	25,32	47,0	
16	1,5	—	57,5	0,35	11,9	26,09	47,0	
17	2,0	0,5	60,0	2,5	14,4	31,16	47,3	
18	2,5	—	61,6	1,6	16,0	35,09	47,5	[1] Wegen der Unregelmässigkeit bei Nr. 20 u. 21 Belastung mit 3,5 u. 4,0 wiederholt.
19	3,0	—	62,5	0,9	16,9	37,06	47,8	
20	3,5	—	63,8	1,3	18,2	39,91	48,0	
21	4,0	—	64,3	0.5	18,7	41,01	47,5	
22	3,5 [1]	—0,5	63,4	—0,9	17,8	39,04	48,0	[2] Nach 5 Min.
23	4,0	+0,5	64,3	+0,9	18,7	41,01	47,5 [4]	[3] Die Marke wurde von hier ab 0,35 höher genommen.
24	4,5	—	64,8	0,5	19,2	42,15	48,2	
25	5,0	—	65,2	0,4	19,6	42,98	48,2	
26	6,0	1,0	65,8	0,6	20,2	44,29	48,35	
27	7,0	—	66,3	0,5	20,7	45,39	48,5	
28	8,0	—	66,8	0,5	21,2	46,49	48,5	
29	9,0	—	67,1	0,3	21,5	47,15	48,9	Nach 2 Min. 48,4.
30	10,0	—	67,5	0,4	21,9	48,03	48,3	
31	11,0	—	67,5 [2]				47,9	[4] Marke nochmals etwas erhöht, so dass ein Vergleich der folgenden Zahlen mit den ersten 30 Versuchen nicht genau möglich.
32	12,0	—	67,0 [3]				48,3	
33	13,0	—	67,2	0,2			48,5	
34	14,0	—	67,5	0,3			48,0 [5]	
35	15,0	1,0	67,7	0,2			48,6	[5] Nach 2 Min.
36	20,0	5,0	68,2	0,5			48,2	Nach 1 Min.
37	25,0	—	68,4	0,2			48,4	
38	30,0	—	69,0	0,6			48,2	
39	35,0	—	69,1	0,1			48,2	
40	50,0	15,0	69,8	0,7			48,0	Nach 5 Min.
41	100,0	50,0	71,9	2,1			48,5	Nach 1 Min.; nach 5 Min.: 48,0.
42	161,50	61,5	74,0	2,1				
43	211,50	50,0	75,7	1,7			48,0	Nach 5 Min.

Versuchsreihe IV.

V. saphena magna, von der Mitte des rechten Oberschenkels. Den 12. Mai Vorm. 11 Uhr. Aufbewahrung der Vene wie bei III. Temperatur während der Versuchsreihe 14°R. Dauer der einzelnen Versuchsnummer etwas über 4 Minuten. Regelmässige Anfeuchtung. Gegen Ende der Versuche, von Nr. 31 an, schien die Elasticität unvollkommen zu werden.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Nr. des Versuches.	Belastung.	Differenz derselben.	Länge während Belastung.	Differenz derselben.	Differenz gegen Anfangslänge.	Ausdehnung auf 100.	Länge nach Entlastung.	Bemerkungen.
1	0,0		44,0		0,0	0,00	44,0	
2	0,2	0,2	44,7	0,7	0,7	1,59	44,0	
3	0,5	0,3	45,3	0,6	1,3	2,95	44,0	
4	1,0	0,5	46,0	0,7	2,0	4,55	44,0	
5	1,5	—	47,0	1,0	3,0	6,82	44,0	
6	2,0	—	48,0	1,0	4,0	9,09	44,0	
7	2,5	—	49,0	1,0	5,0	11,36	44,0	
8	3,0	—	49,8	0,8	5,8	13,18	44,0	
9	3,5	—	50,4	0,6	6,4	14,54	44,0	
10	4,0	—	51,0	0,6	7,0	15,91	44,0	
11	4,5	—	51,6	0,6	7,6	17,27	44,0	
12	5,0	—	52,1	0,5	8,1	18,42	44,0	
13	6,0	1,0	53,0	0,9	9,0	20,45	44,0	
14	7,0	—	54,0	1,0	10,0	22,73	44,0	
15	8,0	—	55,0	1,0	11,0	25,00	44,1	
16	9,0	—	56,0	1,0	12,0	27,27	44,2	
17	10,0	—	57,0	1,0	13,0	29,55	44,2	
18	11,0	—	58,0	1,0	14,0	31,82	44,3	
19	11,5	0,5	58,5	0,5	14,5	32,95	44,3	
20	12,0	0,5	59,0	0,5	15,0	34,18	44,4	
21	13,0	1,0	59,8	0,8	15,8	35,91	44,4	
22	14,0	—	60,4	0,6	16,4	37,27	44,4	
23	15,0	—	60,9	0,5	16,9	38,41	44,4	
24	20,0	5,0	63,8	2,9	19,8	45,00	44,8	
25	25,0	—	65,4	1,6	21,4	48,64	44,9	
26	30,0	—	66,8	1,4	22,8	51,82	45,0	
27	35,0	—	68,0	1,2	24,0	54,55	45,0	
28	40,0	—	69,0	1,0	25,0	56,82	45,0	
29	50,0	10,0	69,8	0,8	25,8	58,64	45,3	
30	60,0	—	70,6	0,8	26,6	60,45		Von hier ab sind bleibende Dehnungen wahrscheinlich.
31	70,0	—	71,3	0,7	27,3	62,05	46,2	
32	80,0	—	71,9	0,6	27,9	63,41	46,3	
33	90,0	—	72,4	0,5	28,4	64,54	46,6	
34	100,0	—	72,8	0,4	28,8	65,45	47,0	
35	150,0	50,0	75,0	2,2	31,0	70,45	48,0	
36	211,5	61,5	77,0	2,0	33,0	75,00	49,0	

Tabelle IV a.

Ausdehnbarkeit der Vene IV, nach der Formel:

$$\frac{L_I - L}{\left(\frac{L_I + L}{2}\right)(p_I - p)} \text{ für } \frac{p + p_I}{2}$$

auf $\frac{1 \text{ Mm.}}{1 \text{ Gramm}}$ berechnet (L = Länge bei p Gramm, L_I = Länge bei p_I Gramm).

a. Bei Belastung von:	b. Ausdehnbarkeit auf 1 Mm.
0,10	0,0079 .
0,35	0,0044 .
0,75	0,00307
1,25	0,0043 .
1,75	0,0042 .
2,25	0,0041 .
2,75	0,0032 .
3,25	0,0024 .
3,75	0,00237
4,25	0,00234
4,75	0,00192
5,50	0,00171
6,50	0,00187
7,50	0,00183

Leiche B.

39 Jahre alt, weiblich; an 10tägiger acuter Krankheit, die ohne Beziehungen zum Venensystem stand, verstorben. Von dem noch todtenstarren Cadaver wurden, fast 24 Stunden nach dem Tode, am 19. Mai Abends von $^1/_2$7 bis 8 Uhr eine Anzahl Venen genommen, dieselben Nachts bei einer Temperatur zwischen 3 und 5° R. in Jodserum aufbewahrt; letzteres wurde am 20. früh um 8 erneuert. Temperatur jetzt 6,3° R. Untersucht wurden von dieser Leiche eine Muskelvene aus dem Biceps brachii und die Saphena vom Oberschenkel.

Versuchsreihe VI.

Muskelvene, Ast der V. brachialis, aus dem M. biceps brachii; 1,5 Mm. im Durchmesser. Untersuchung den 20. Mai, Morgens 8—11 Uhr; also ca. 36 St. post mortem. Temperatur 15° R. Dauer des einzelnen Versuches ca. 5 Minuten. Im Uebrigen wie oben.

1. Nr. des Versuches.	2. Belastung.	3. Differenz ders.	4. Länge während Belastung.	5. Differenz ders.	6 Differenz gegen Anfangslänge.	7. Ausdehnung auf 100.	8. Länge nach Entlastung.	9. Bemerkungen.
1	0,0		15,8		0,0	0,00	15,8	
2	0,1	0,1	16,9	1,1	1,1	6,96	15,8	
3	0,2	—	17,6	0,7	1,8	11,39	15,8	
4	0,3	—	18,0	0,4	2,2	13,92	15,8	
5	0,4	—	18,6	0,6	2,8	17,82	15,8	
6	0,5	—	19,1	0,5	3,3	20,89	15,8	
7	0,6	—	19,5	0,4	3,7	23,42	15,8	
8	0,7	—	19,9	0,4	4,1	25,95	15,8	
9	0,8	—	20,2	0,3	4,4	27,85	15,8	
10	0,9	—	20,4	0,2	4,6	29,11	15,8	
11	1,0	—	20,6	0,2	4,8	30,38	15,8	
12	1,1	—	20,75	0,15	4,95	31,33	15,8	
13	1,2	—	20,9	0,15	5,1	32,28	15,8	
14	1,3	—	21,1	0,2	5,3	33,54	15,8	
15	1,4	—	21,3	0,2	5,5	34,81	15,8	
16	1,5	—	21,45	0,15	5,65	35,76	15,8	
17	2,0	0,5	22,1	0,65	6,3	39,87	15,8	
18	2,5	—	22,4	0,3	6,6	41,77	16,0	
19	3,0	—	22,7(65)	0,3	6,9	43,67	16,0	
20	3,5	—	22,9	0,2	7,1	44,94	16,0	
21	4,0	—	23,05	0,15	7,25	45,89	16,0	
22	5,0	1,0	23,3	0,15	7,5	47,46	16,0	
23	7,0	2,0	23,75	0,45	7,95	50,32	16,0	
24	10,0	3,0	24,05	0,30	8,25	52,22	16,0	
25	12,0	2,0	24,10	0,05	8,3	52,53	16,0	
26	15,0	3,0	24,25	0,15	8,45	53,48	16,0	
27	20,0	5,0	24,85	0,60	9,05	57,28	16,3	
28	25,0	—	25,0	0,15	9,2	58,23	16,3	
29	30,0	—	25,5	0,5	9,7	61,39	16,0	
30	50,0	20,0	26,0	0,5	10,2	64,56	16,0	
31	100,0	50,0	∞	∞	∞	∞	∞	Die Vene zerriss.

Tabelle VIa.

Ausdehnbarkeit der Vene VI, wie oben bei IV berechnet.

a. Bei Belastung von:	b. Ausdehnbarkeit auf 1 Mm.
0,05	0,673
0,15	0,406
0,25	0,225
0,35	0,328
0,45	0,265
0,55	0,207
0,65	0,203
0,75	0,150
0,85	0,099
0,95	0,098
1,05	0,072
1,75	0,058
2,25	0,027
3,25	0,018
3,75	0,013

Leiche C.

Mann in den mittleren Jahren; Tod: den 25. Mai.

Versuchsreihe VIII.

V. cephalica, vom rechten Oberarm. Die Versuche Nr. 1—17 den 27. Mai, Nr. 18 und 19 am 28. Im Uebrigen Alles wie oben.

1. Nr. des Versuches.	2. Belastung.	3. Differenz ders.	4. Länge bei Belastung.	5. Differenz ders.	6. Differenz gegen Anfangslänge.	7. Ausdehnung auf 100.	8. Länge nach Entlastung.	9. Bemerkungen.
1	0,0		78,0	0,0		0,00	78,0	
2	0,5	0,5	80,5	2,5	2,5	3,25	78,5	
3	1,0	—	83,0	2,5	5,0	6,41	79,0	
4	1,5	—	84,8	1,8	6,8	8,72	79,5	
5	2,0	—	87,5	2,7	9,5	12,18	80,0	
6	3,0	1,0	91,0	3,5	13,0	14,47	80,0	
7	4,0	—	94,0	3,0	16,0	20,51	80,0	
8	5,0	—	97,5	3,5	19,5	25,00	80,0	
9	10,0	5,0	106,0	8,5	28,0	35,89	81,0	
10	20,0	10,0	111,0	5,0	33,0	42,31	82,0	
11	30,0	—	112,5	1,5	34,5	44,23	82,0	
12	40,0	—	113,2	0,7	35,2	45,13	82,0	
13	50,0	—	113,8	0,6	35,8	45,89	82,0	
14	100,0	50,0	115,4	1,6	37,4	48,08	82,5	
15	150,0	—	116,8	1,4	38,8	49,74	83,0	
16	200,0	—	118,0	1,2	40,0	51,28	83,0	
17	500,0	300,0	123,0	5,0	45,0	57,69	83,5*)	*) Nach 24stündigem Liegen in Joderum auf 78,0 zurück.
18	1500,0	1000,0	116,0				78,0	
19	2500,0	1000,0	122,5	44,5	6,5		79,5	

III.

Die Folgerungen, welche sich aus den in den Tabellen gegebenen Zahlenreihen, sowie aus deren graphischem Abbild, den Curven ziehen lassen, sind ebenso mannigfaltig wie werthvoll.

In den Anfangsstadien zeigen sich bei den meisten Curven Unregelmässigkeiten, theilweise vielleicht Schuld der Austrocknung oder ein Beweis, dass die Vene erst bei stärkerer Belastung eine genau bestimmbare, geradlinig messbare Länge besitzt (vgl. unten) — oder aber — es handelt sich hier um einen nach unten convex verlaufenden Anfangstheil der Curve, dessen genaue Feststellung unter den obwaltenden complicirten Verhältnissen mit den zu Gebote stehenden Hülfsmitteln nicht möglich war. Im Uebrigen aber zeigen sämmtliche Curven eine sehr gute Uebereinstimmung unter einander, sowie einen ausgesprochenen Verlauf gesetzmässiger Krümmung, wenn wir von den höheren Belastungen, bei denen die elastische Nachwirkung allzu sehr stört, einstweilen absehen wollen.

Von einer gewissen Belastung an bis zu dem Augenblicke, wo die Vene nicht mehr oder nur sehr langsam nach der Entlastung auf die ursprüngliche Länge zurückgeht, d. h. durchschnittlich bis zu einer Ausdehnung um 40—50% ist die die Ausdehnung darstellende Linie eine Parabel, — oder mit anderen Worten: die Venen verlängern sich bei Belastung mit gleichmässig wachsenden Gewichten nicht gleichmässig, sondern proportional den Quadratwurzeln der Belastung.

Ich muss bekennen, dass schon Braune's Curven auf mich viel mehr den Eindruck einer Parabel als einer Hyperbel machten, und die durch meine eigenen Untersuchungen gewonnenen Zahlen haben diese Vermuthung durchaus bestätigt. Ein Mathematiker von Fach, Herr Privatdocent Dr. Frege hierselbst, hat die Güte gehabt, einige Versuchsreihen nachzurechnen und hat eine vollständig genügende Uebereinstimmung zwischen der Beobachtung mit ihren unvermeidlichen Fehlern und der Parabelgleichung constatirt. Die Fehlerquadrate betrugen höchstens Zehntel-, meist nur Hundertstel-Millimeter.

Von dem Punkte an, wo die Vene nach der Entlastung sehr langsam oder gar nicht mehr auf die frühere Länge (immer ab-

gesehen von bleibenden Dehnungen) zurückkehrt, geht die Parabel in eine langsam aufsteigende Linie über, die sich, soweit die Beobachtungen reichen, schwer von einer geraden unterscheiden lässt.

Es können gegen dieses Resultat, d. h. zunächst gegen die Untersuchungsmethode, durch welche ich zu demselben gelangt bin, eine Reihe von Einwürfen gemacht werden, Einwürfe, die ich mir selber gemacht habe, deren Berechtigung theilweise unzweifelhaft feststeht, die aber andererseits, soweit ich sehe, Fehlerquellen betreffen, welche niemals bei derartigen Untersuchungen werden vermieden werden können.

Einwürfe und Prüfung derselben.

1) Das Material war nicht absolut frisch.

Als Aufgabe war eine Erforschung der elastischen Eigenschaften der Venen beim Menschen gestellt, da gerade hier eigenthümliche mechanische Verhältnisse vorliegen — eine den Anatomen und Physiologen nicht minder wie den Chirurgen, Gynäkologen und inneren Klinikern bekannte Thatsache. Bei unseren socialen Verhältnissen indess ist es so gut wie unmöglich, abgesehen von ganz besonders glücklichen Umständen (Operationen u. dgl.), absolut frisches Material zu erhalten. Aber auch dieses beginnt augenblicklich abzusterben, auch dieses bleibt während einer Untersuchungsreihe von mehreren Stunden gewiss nicht mehr frisch. Vielleicht ist es sogar besser, 2 oder 3 Tage nach dem Tode zu untersuchen, statt gleich nachher, weil in der späteren Periode das während eines 2—3stündigen Versuches fortschreitende Absterben höchst wahrscheinlich minimale Differenzen zwischen Anfang und Ende des Versuches verursacht, während ein bald nach dem Tode vorgenommener Versuch relativ stärkeren sich abspielenden Veränderungen begegnen würde — oder mit andern Worten, 2 Stunden sind auf 2 Tage wenig, auf einige Stunden sehr viel. Ausserdem geht das Absterben der organischen Gewebe bekanntlich Anfangs sehr schnell, und bei gewissen Geweben, zu denen das elastische und Bindegewebe gehören, von einem gewissen Zeitpunkte an sehr langsam vor sich. Absolut frisches Gewebe gibt es daher eigentlich nur im Lebenden; davon konnte also keine Rede sein.

Aber auch thierische Venen boten aus diesem Grunde keine Garantie; hier hätte, wie es ja für Muskeln von den oben genannten Forschern theilweise geschehen ist, schliesslich doch auch in vivo

experimentirt werden müsse; da hier nur Thiere mit grösseren Gefässen in Betracht kamen, d. h. solche, die hierin dem Menschen nahe stehen, musste wiederum aus sehr einfachen änsseren Gründen davon abgesehen werden. Es dürfte also ebenso schwer sein, absolut frisches thierisches Material experimentell zu prüfen, wie solches vom Menschen. — Schliesslich aber muss auf die Ausführungen hingewiesen werden, die an die Besprechung der Wertheim'schen Versuche geknüpft wurden (s. S. 11.). Und mein Material war höchstens 3 Tage alt und lag kalt; auch zeigten sich keine erkennbaren Unterschiede, ob die Venen nun $1^1/_2$, 2 oder 3 Tage nach dem Tode untersucht wurden.

2) Hat das Bepinseln mit Jodserum während der Versuche und die Aufbewahrung der Venen in dieser Flüssigkeit störend eingewirkt?

Dass ein kurzes Aufbewahren in Jodserum organische Gewebe ausserordentlich wenig verändert, dürfte allgemein anerkannt sein; so war mir auch nicht erfindlich, dass das frische Serum oder die minimalen Mengen Jod die Venenwandung hätten destruiren sollen. Das einzige Bedenken ist die Quellung, welche die Gewebe im Serum wie in anderen Flüssigkeiten erleiden. Diese Quellung könnte eine Verkürzung des Gefässes herbeiführen. Aber gibt es denn ein geeigneteres Mittel zur Aufbewahrung für solche Untersuchungen? Und dass ein regelmässiges Feuchterhalten des Gefässes absolut nöthig war, zeigten die ersten Versuchsreihen, wo sofort eine Verkürzung oder zu geringe Verlängerung beim Eintrocknen der Wandung eintrat. Der feuchte Zustand der Vene ist aber doch gewiss das Natürliche und sie diesem natürlichen Zustande durch ein anderes Mittel näher zu bringen, als durch Jodserum, dürfte noch nicht gelungen sein, ohne anderweitige Nebenwirkungen herbeizuführen.

3) Bei höheren Belastungen ist die vollständige Ausdehnung sowie das Zurückgehen der Vene auf die Anfangslänge nicht abgewartet worden.

Aus W. Weber's, sowie eigenen, an einem sehr dehnbaren und vollkommen elastischen Körper angestellten Versuchen (s. u.) geht hervor, dass die elastische Nachwirkung bei organischen Körpern nicht nur Stunden, sondern Tage braucht, um die definitive Längenänderung derselben in die Erscheinung treten zu lassen; — ja, streng genommen ist die erforderliche Zeit $= \infty$, die Curve asymptotisch. Es war aber unmöglich, auch nur Stunden auf eine Versuchsnummer zu verwenden, da doch das natürliche Be-

streben vorlag, das Material in möglichst gleichmässigem Zustande zu untersuchen. Ob nun 3 oder 5 Min. belastet, und ob 3 oder 5 Min. nach der Entlastung auf das Zurückgehen der Vene gewartet wurde, war von dem höheren Gesichtspunkte aus gleichgiltig, da auf absolut genaue Resultate, wenn man nicht eben bis zum jüngsten Tage warten wollte, — für höhere Belastungen wenigstens — doch verzichtet werden musste. Es wurde daher durchschnittlich, wo nicht etwas Besonderes in den Tabellen angegeben, bei jeder einzelnen Versuchsreihe dieselbe Zeit auf die einzelne Nr. verwandt. Diese Zeit hat bei grösserer Uebung und Ruhe nicht ab-, sondern zugenommen, wie ein Vergleich der Vorbemerkungen bei den Reihen zeigt. — Nun erfordern allerdings höhere Belastungen grössere Zeiträume für die Nachwirkung, so dass selbst, wenn ich genau dieselbe Zeit auf Belastet- und Entlastet-Sein der Vene und genau dieselbe Zeit für jede Versuchsnummer derselben Reihe verwandt hätte, durchaus noch nicht die Nachwirkung in jedesmal demselben Stadium gemessen hätte. (Vgl. oben: Wundt gegen Volkmann.) Dass die Zahlen trotz alledem noch zu Vergleichen brauchbar sind, zeigen meine Curven. Allgemeine Gesetze hingegen aus den Versuchen mit höheren Belastungen ableiten zu wollen, erscheint in Anbetracht der besprochenen Verhältnisse mindestens gewagt — und verzichte ich einstweilen vollständig darauf. Von sehr wesentlicher Bedeutung ist nun noch der Umstand, dass die Venen während des Lebens niemals so lange Zeiträume hindurch und so stark belastet ausgedehnt werden, dass die volle der Belastung entsprechende Ausdehnung eintritt — und dass andererseits ebenso wenig Tage lange Zeiträume vorhanden sind, um das Zurückgehen zu ermöglichen. Da nun das Eine so wenig wie das Andere im Organismus der Fall, ähneln die Verhältnisse sehr denjenigen, wie sie meine Experimente beherrschten — und diese Thatsache gerade macht die Resultate speciell für den Organismus verwerthbar.

Die meinen Untersuchungen zu machenden Einwürfe beziehen sich somit theils auf absolut unvermeidliche Fehlerquellen, theils auf unwesentliche Punkte. Einen positiven Beweis für die Genauigkeit und allgemeinere Gültigkeit meiner Beobachtungen glaube ich in dem glatten, regelmässigen Verlauf der Curven, sowie in dem Umstande erblicken zu dürfen, dass die Zahlen für die Saphena wie für die Cephalica in verschiedenen Reihen, obwohl die Versuche zu verschiedenen Zeiten und an verschieden alten Venen angestellt wurden, sehr gut mit einander übereinstimmen,

wie die folgende Zusammenstellung zeigt.[1]) Die Differenzen der procentischen Ausdehnungen sind fast durchgehend ausserordentlich geringfügig:

Saphena magna, Oberschenkel.

Belastung.	Ausdehnung in % Reihe IV	Reihe VII	Differenz von IV u. VII
2,0	9,09	10,26	—1,17
2,5	11,36	10,93	+0,43
3,0	13,18	12,80	+0,38
5,0	18,42	14,00	+4,42
8,0	25,00	24,67	+0,33
10,0	29,55	28,66	+0,89
13,0	35,91		
13,5		35,33	
18,5		41,60	
20,0	45,00		
23,5		46,67	
25,0	48,64		
30,0	51,82		
33,5		52,53	
35,0	54,55		

Cephalica.

Belastung.	Ausdehnung in % Reihe II	Reihe VIII	Differenz von II u. VIII
0,5	3,19	3,25	—0,06
1,0	6,22	6,41	—0,19
1,5	9,24	8,72	+0,52
2,0	12,27	12,18	+0,09
3,0	17,31	14,47	+2,84
4,0	21,18	20,51	+0,67
5,0	24,71	25,00	—0,29
10,0	34,96	35,89	—0,93
19,0	41,51		
20,0		42,31	

Ferner entsteht die Frage: gilt der oben aufgestellte Satz für alle Venen?

So weit meine Beobachtungen reichen, ist diese Frage zu bejahen. Direct nachgewiesen habe ich, dass sich Saphena magna an Ober- und Unterschenkel, ein Hautast der ersteren, Cephalica an Ober- und Unterarm, Basilica und ein Muskelast der Brachialis übereinstimmend verhalten. Die Differenzen, welche in dem steileren oder flacheren Ansteigen der Curve sich zeigen, stören bekanntlich das allgemeine Parabelgesetz nicht im mindesten, sie hängen von einer Constante ab, welche hier wiederum eine Function der Stärke und des anatomischen Baues der Venenwand ist. Dass sich, bei übrigens ganz gleichen Bedingungen, ein dünnerer Haut- oder Muskelast bei gleicher Belastung stärker ausdehnen wird, als Saphena magna, liegt ja auf der Hand. Die Curven wären nur dann direct vergleichbar gewesen, wenn die Zahlen auf dieselbe Volumeneinheit, nicht nur Längeneinheit, berechnet worden wären. Das Volumen eines Gebildes, wie eine Vene, aber auch nur annähernd richtig zu bestimmen, —

[1]) Die Untersuchungen II und VII sind nicht in extenso mitgetheilt worden. Vgl. S. 33.

dazu fehlten mir durchaus die Mittel. Aus diesem Grunde habe ich selbstverständlich auch von jeglichem Versuch, die Elasticitätscoefficienten der verschiedenen Venen zu bestimmen, Abstand nehmen müssen. Ausserdem aber handelt es sich nicht nur um rein verschiedene quantitative Differenzen der Wandungsstäke, sondern, wie ja im Allgemeinen bereits bekannt (und wie mir später mitzutheilende eigene Untersuchungen speciell nachgewiesen haben) um sehr wesentliche qualitative, Structurdifferenzen, die durchaus nicht mit den quantitativen Hand in Hand gehen. Nun besitzen ja die verschiedenen in den Aufbau der Venenwandung eingehenden Gewebe sehr verschiedene Elasticitätscoefficienten, wie das der für das eine derselben κατ' ἐξοχήν geltende Name „elastisches Gewebe" man weiss nicht recht ob zu leugnen oder anzuerkennen scheint.

Sonach mussten selbstverständlich die einzelnen Curven verschiedene Gestaltung annehmen, wenn sie auch alle derselben Gattung angehören.

Aber die Unmöglichkeit, genügend genaue Masse von dem Volumen der Vene zu erhalten, zweitens die Unmöglichkeit, die einzelnen Gewebe isolirt in genügender Menge auf ihr elastisches Verhalten zu untersuchen, drittens die Unmöglichkeit, die einzelnen Antheile der durcheinander gewebten Substanzen (elastisches —, Bindegewebe, Muskeln) zu messen — machen die Aufgabe, Beziehungen zwischen morphologischem und elastischem Verhalten der Venenwand nicht nur als vorhanden nachzuweisen, sondern dieselben exact, mathematisch greifbar, darzustellen, zu einer unlösbaren. Nur so viel habe ich constatiren können, dass von allen untersuchten Venen der 1,5 Mm. im Durchmesser betragende Muskelast der V. brachialis die besten, reinsten Resultate gab, eine sehr vollkommene Elasticität bis zu hohen Belastungen bewahrte, relativ schnell verlaufende elastische Nachwirkung zeigte. Hier liegt ein Fall vor, wo die Beziehungen zwischen dem Bau und dem physikalischen Verhalten der Wandung klar zu Tage treten, weil der erstere relativ einfach ist, wie in den ferneren Beiträgen zur Kenntniss des Venensystems des Näheren erörtert werden soll.

Aber bei all' den Verschiedenheiten, welche die untersuchten Venen quantitativ und qualitativ darbieten, lässt sich ein und dasselbe Gesetz für die Ausdehnungen nachweisen — und wir dürfen ganz gewiss das für die untersuchten Venen übereinstimmend gefundene auf die übrigen Venen des Körpers ausdehnen.

IV.

Sind wir vielleicht aber sogar berechtigt, für das Gesetz die Giltigkeit in noch weit ausgedehnterem Masse, für alle anderen organischen Körper, vielleicht für alle Körper überhaupt zu beanspruchen? Diese allgemeine Frage zu beantworten liegt allerdings nicht in dem Zwecke meiner Untersuchung, — abgesehen von allem Anderen würde dies doch allzuweit von der Aufgabe der allgemeinen Anatomie abliegen.

Trotzdem erschien es mir absolut nothwendig, zur Controle der Venen-Versuche ähnliche an einem Körper anzustellen, der nicht so vielen fremden Einflüssen zugängig ist wie jene. Ich wählte hierzu das Gummi elasticum, welches sich durch sehr vollkommene, aber quantitativ geringe Elasticität, also durch relativ grosse Verlängerung bei kleinen Belastungen auszeichnet. Zu meiner grossen Ueberraschung fand ich nun beim Gummi ein auf den ersten Blick durchaus abweichend erscheinendes Verhalten, wenigstens bei kleinen und mittleren Belastungen; erst bei stärkeren Gewichten fand sich auch hier eine nach unten concave Curve. Uebrigens hat bereits früher (eine Thatsache, die mir bei Anstellung meiner Versuche noch unbekannt war) Horvath[1]) Stränge und Röhren von vulkanisirtem Kautschuk auf Elasticität untersucht und gefunden, „dass die Dehnbarkeit des Kautschuks dem Gewichte nicht direct proportional verläuft und dass die Elasticität des Kautschuks, vom Anfange an gerechnet, immer abnimmt, bis zu einer gewissen Grenze, um dann wiederum fast in derselben Weise zuzunehmen“ (l. c. S. 757). Zu einem ähnlichen Resultate bin ich für das Gummi gleichfalls gelangt. Ich habe verschiedene Versuche an cylindrischen und bandartigen Gummistücken (Röhren hatte ich nicht zur Verfügung) angestellt; alle ergaben dasselbe Resultat, wie die hier folgenden Tabellen No. IX—XII nebst den dazu gehörigen Curven (s. Tafel I) zeigen.[2])

---

[1]) Zur Lehre von der Elasticität. Medic. Centralblatt 1873. S. 753—758. — Vgl. oben.

[2]) Die Horvath'schen Versuche sind bei weitem nicht so genau ausgeführt, wie die meinigen; wenigstens werden dort nur ganze Millimeter angegeben, während ich auch hier auf $^1/_{10}$ Mm. genau gemessen habe. Ob Horvath die elastische Nachwirkung gekannt und berücksichtigt hat, muss zweifelhaft erscheinen, wenn man die unregelmässigen Differenzenzahlen extrahirt, erwähnt

Tabelle IX.

Gummistrang, cylindrisch; Länge (ohne Belastung nicht genau bestimmbar) bei 1,0 Gramm = 40,0. Dies wurde als „Anfangslänge" genommen; Entlastung sonach = Belastung mit 1,0. Durchmesser = 1,55 Mm. Temperatur 16° R.

a. Nr. des Versuches.	b. Belastung.	c. Differenz ders.	d. Länge bei Belastung.	e. Differenz ders.	f. Differenz gegen Anfangslänge.	g. Verlängerung auf 100.	h. Länge gleich nach Entlastung.	i. 2. Diff. Quotient
1	1,0		40,0		0,0	0,00	(40,0)	
2	2,0	1,0	40,4	0,4	0,4	1,00		+
3	5,0	3,0	41,4	1,0	1,4	3,50		+
4	11,5	6,5	43,85	2,45	3,85	9,625		+
5	16,5	5,0	45,9	2,05	5,9	14,75		+
6	21,5	5,0	48,0	2,1	8,0	20,00		+
7	31,5	10,0	53,0	5,0	13,0	32,50		+
8	41,5	10,0	60,0	7,0	20,0	50,00	40,0	+
9	50,0	8,5	68,0	8,0	28,0	70,00		+
10	60,0	10,0	79,8	11,8	39,8	99,50	40,6	+
11	70,0	—	91,5	11,7	51,5	128,75		+
12	80,0	—	105,5	14,0	65,5	163,75	41,0	+
13	90,0	—	120,0	14,5	80,0	200,00	42,0	+
14	100,0	—	134,0	14,0	94,0	235,00	43,0	+
15	200,0	100,0	219,5	85,5	179,5	448,75		—
16	300,0	100,0	251,0	32,5	211,0	527,75	41,0	
17	500,0	200,0	283,0	32,0	243,0	607,50	43,0	—

Tabelle X.

Gummiband, bei 1,0 Belastung 40,0 lang; 8,0 breit; 0,475 dick.

---

wird sie jedenfalls nicht. Und wenn 25 Versuche in 8 Minuten, oder 30 in 11 Min. gemacht wurden, ist die Nachwirkung wohl etwas schlecht davon gekommen! Ferner wurde successiv, um 50 Gramm steigend, belastet, ohne dazwischen zu entlasten, so dass jede Controlle fehlt, ob nicht die Elasticitätsgrenze überschritten wurde. Das Resultat der successiven Entlastung um 50 Gramm war dann schliesslich eine Länge von 22 gegen Anfangs 10 „Mm." (Sollte es nicht „Centimeter" heissen? „Mm." steht allerdings 5 Mal! das scheint mir aber etwas sehr wenig!)

a. Nr. des Versuches.	b. Belastung.	c. Differenz ders.	d. Länge bei Belastung.	e. Differenz ders.	f. Differenz gegen Anfangslänge.	g. Verlängerung auf 100.	h. Länge gleich nach Entlastung.	i. Bemerkungen.
1	1,0		40,0		0,0	0,00	(40,0)	
2	1,5	0,5	40,3	0,3	0,3			
3	2,0	0,5	40,45	0,15	0,45			
4	5,0	3,0	41,05	0,6	1,05	2,625		
5	11,5	6,5	42,0	0,95	2,0	5,00		
6	16,5	5,0	43,0	1,0	3,0	7,50		
7	25,0	8,5	44,4	1,4	4,4	11,00		
8	30,0	5,0	45,9	1,5	5,9	14,75		
9	35,0	—	46,75	0,85	6,75	16,875	40,0	
10	40,0	—	47,5	0,75	7,5	18,75		
11	45,0	—	48,7	1,2	8,7	21,75		
12	50,0	–	49,95	1,25	9,95	24,875		
13	60,0	10,0	52,8	2,85	12,8	32,00	40,0	
14	70,0		55,0	2,2	15,0	37,50		
15	80,0	—	57,7	2,7	17,7	44,25		
16	90,0	—	61,0	3,3	21,0	52,50		
17	100,0	—	65,4	4,4	25,4	63,50		
18	150,0	50,0	89,3	23,9	49,3	123,25		
19	200,0	—	118,0	28,7	78,0	195,00	41,0	Später auf 40,0 zurück.

Tabelle XI.

Gummiband, bei 2,0 Belastung 63,8 lang; 6,0 breit; 0,875 dick.

a. No.	b. Belastung.	c. Differenz.	d. Länge bei Belastung.	e. Differenz.	f. Differenz gegen Anfangslänge.	g. Verlängerung auf 100	h. Länge gleich nach Entlastung.
1	2,0		63,8		0,0	0,00	
2	3,0	1,0	64,2	0,4	0,4	0,63	
3	4,0	1,0	64,6	0,4	0,8	1,25	
4	5,0	1,0	65,0	0,4	1,2	1,88	
5	7,0	2,0	65,2	0,2	1,4	2,19	
6	10,0	3,0	65,5	0,3	1,7	2,66	
7	13,5	3,5	65,9	0,4	2,1	3,29	
8	18,5	5,0	66,5	0,6	2,7	4,23	
9	25,0	6,5	67,9	1,4	4,1	6,43	
10	30,0	5,0	68,6	0,7	4,8	7,52	
11	35,0	5,0	69,4	0,8	5,6	8,78	
12	45,0	10,0	71,1	1,7	7,3	11,44	
13	55,0	—	73,0	1,9	9,2	14,42	
14	65,0	—	75,0	2,0	11,2	17,55	
15	75,0	—	77,1	2,1	13,3	20,85	
16	100,0	25,0	83,6	6,5	19,8	31,34	64,4
17	2,0		62,2				
18	150,0	148,0	97,7		35,5		
19	200,0	50,0	122,5		60,3		

Tabelle XIa.

Bei Belastung von	Ausdehnbarkeit.:	Bei Zunahme der Belastung um	Zunahme der Ausdehnbarkeit.:
2,5	0,00625		
8,5	0,0015	6,0	
11,75	0,0017	3,25	0,00020
27,5	0,00205	15,75	0,00035
32,5	0,00232	5,0	0,00027
40,0	0,00242	7,5	0,00010
50,0	0,00264	10,0	0,00022
60,0	0,00270	10,0	0,00006
70,0	0,00276	10,0	0,00006
87,5	0,00326	17,5	0,00050
125,0	0,00386	37,5	0,00060
175,0	0,00450	50,0	0,00064

Tabelle XII.

Gummiband, 6 Mm. breit; 0,875 dick; bei Belastung mit der Klemme (13,5) 56,5 Mm. lang. Dies als Anfangslänge genommen; Entlastung bis auf die Klemme. Den 3. August 1877. Temperatur 16° R.

No.	Belastung.	Zeit.	Länge bei Belastung.	Differenz gegen Anfangslänge.	Länge nach Entlastung	Zeit.	2. Differenz-Quotient.	Bemerkungen.
1.	13,5		56,5		56,5			
2.	113,5		75,0	18,5	56,5			
3.	213,5	11U.12	120,0	63,5	57,0	11U.17	+	
					56,0	11.20		
4.	313,5	11.20						
		11.23	176,4					
		11.26	180,5					
		11.28	181,3					
		11.30	181,5	125,0			+	
					59,7	11.30		
					58,3	11.33		
					57,8	11.36		
					57,0	12 Uhr		
5.	513,5	12.02						
		12.10	264,0					
		12.20	273,0					
		12.25	275,0					
		12.30	276,0					
		12.33	270,0	219,5			—	
					62,6	12.36		
					59,8	3.46		
6.	1013,5	4 Uhr	382	(325,5)				
		4.05	*)					*) Die Klemme glitt ab; die Marke wurde etwas verändert.
7.	1013,5	4.10	389					
		4.25	396					
		4.17	*)	ca. 345			—	*) Die Klemme glitt ab, als es ca. 400 Mm. waren.
					64,0	4.25		Am anderen Tage war das Gummiband wieder auf seine Anfangslänge zurückgekehrt.

Die Versuchsreihen IX, X und XI sind in ganz analoger Weise, wie die Versuche an den Venen angestellt; die Dauer der einzelnen Nummer betrug bei kleinen und mittleren Belastungen 3—5 Minuten, bei höheren mehr; aber bei diesen drei Reihen wurde nicht die definitive Ausdehnung abgewartet. Befeuchtet wurde der Gummi natürlich nicht; dafür habe ich ihn vor den Versuchen durch öfter wiederholtes Dehnen möglichst homogen zu machen, sowie bleibende Dehnungen bei den Belastungsversuchen nach Kräften auszuschliessen versucht.

Der Reihe IX lag ein cylindrischer Strang, den Reihen X—XII Bänder zu Grunde; das bei X war um 0,475 dick; das für XI und XII verwandte (ein und dasselbe) 0,875. Bei Reihe XII sind höhere Belastungen angewandt worden und die definitive Verlängerung gemessen, soweit es eben möglich war. Ich denke, die Tabellen werden für Alle, die sich für diese Fragen interessiren, verständlich sein; die Rubriken sind genau bezeichnet und verzichte ich deshalb hier auf eine specielle Auseinandersetzung der Resultate. —

Vergleichen wir nun im Allgemeinen die Erscheinungen, welche Belastung und Entlastung bei Venen und beim Gummi hervorrufen. Wesentlich verschieden erscheint der Anfang der Curve bei beiden Geweben; man vergleiche die Curve IXa, X, XI einerseits mit III bis VIII andererseits. Aber auch bei letzteren fand sich einige Mal eine Einbiegung der Art, dass die Curve eine Strecke weit nach unten convex verläuft, wie beim Gummi.

Dagegen verläuft die Linie bei höheren Belastungen, bei Gummi ebenso wie bei Venen, d. h. in Form einer Parabel.

Diese hohen Belastungen beim Gummi haben, was speciell etwaigen Einwänden gegenüber bemerkt wird, die Elasticitätszweige nicht überschritten. Der Körper kehrte vollständig wieder zu seiner früheren Länge zurück — und hielt noch mehrfache Versuche hindurch ohne Veränderung aus.

Ich bin natürlich weit entfernt, die Resultate am Gummi als allgemein gültige, also z. B. die Curve IXb als Ausdruck des allgemeinen Elasticitätsgesetzes hinzustellen; ich möchte aber doch darauf hinweisen, dass die grossen Schwierigkeiten, welche eine genaue Längenmessung der Venen ohne oder mit sehr geringer Belastung mit sich führt, eine Erklärung dafür sein können, dass eine Uebereinstimmung mit dem Gummi hier, wenigstens bei den meisten Versuchen, fehlte. Es wäre aber sehr wohl denkbar, dass das convexe Stadium der Curve bei den Venen durch Beobachtungs-

fehler verdeckt wurde, und dass dasselbe absolut sehr kurz ist, d. h. — dass die Curve dort sehr bald in eine concave übergeht. Der Gummi dehnt sich ja in so enorm viel stärkerer Weise aus, als die Venen, dass wir directe Vergleiche, die Belastung und procentige Ausdehnung betreffend, nicht anstellen dürfen. Betrachten wir nun einmal die Zahlen für sehr kleine Belastungen der Venen, so stellt sich für die meisten Versuchsreihen anfangs eine unverhältnissmässige Zunahme der Verlängerung, eine anwachsende Differenz in Col. 6 — oder mathematisch gesprochen, ein positiver 2. Differentialquotient und somit ein nach unten convexes Stück Curve heraus:

Reihe I:	P*)	D_1	D_2
	0,1	0,6	
	0,2	0,9	+0,3
	0,3	1,1	+0,2

Reihe II zeigte anfangs auffallend oft $+ D_2$; aber abwechselnd mit —, so dass wohl Beobachtungsfehler oder Unregelmässigkeiten in der Ausdehnung vorlagen, wie sie ja sehr erklärlich sind.

	P:	D_1	D_2
Reihe IV:	0,5		
	1,0	0,7	
	1,5	1,0	+0,3
	2,0	1,0	+0,0
	2,5	1,0	+0,0
Reihe V:	0,1	0,2	
	0,2	0,7	+0,5
	0,3	1,1	+0,4
Reihe VI:	0,1	1,1	
	0,2	0,7	—0,4
	0,3	0,4	—0,3
	0,4	0,6	+0,2
Reihe VII:	0,5	1,4	
	1,0	1,8	+0,4
Reihe VIII:	1,0	2,5	
	1,5	1,8	—0,7
	2,0	2,7	+0,9

Sonach liesse sich die Möglichkeit, dass auch bei den Venen eine unverhältnissmässig grosse Zunahme der Verlängerung bei

*) P = Belastung, D_1 = Verlängerung. D_2 Differenzen derselben.

geringen Belastungen gesetzmässig vorkomme, nicht von der Hand weisen. Meine Untersuchungsmethode war nicht fein genug, um hier einen Beweis zu liefern, aber die Wahrscheinlichkeit wird durch die Analogie, um nicht zu sagen Homologie, beim Gummi sehr erhöht. Ja noch mehr, die Zahlen, welche Wertheim[1]) für das Eisen gegeben hat, scheinen meine Vermuthung, dass wir hier einem allgemeinen Gesetze auf der Spur sind, zu bestätigen.

Anders scheint es sich allerdings mit Kupfer, Gold, Silber zu verhalten, obwohl auch dort theilweise wenigstens eine Uebereinstimmung sich nachweisen lässt. Doch lassen wir die Zahlen selber sprechen! Ich gebe die von Wundt[2]) (vgl. oben S. 11) gemachte Zusammenstellung aus eigenen Versuchen an organischen Körpern und die von Wertheim stammenden Zahlen für die Metalle.

Rubrik a) enthält das Verhältniss der Belastungen zu einander, bei 1 steht in Klammern das wirkliche Gewicht in Grammen auf den □ Mm. Querschnitt, unter b) stehen die beobachteten, unter c) die berechneten Verlängerungen auf ein Meter Länge bezogen, unter d) die Abweichung der Werthe für b) und c).

1) Sehne:

a)	b)	c)	d)
1(0,533)	0,319	0,367	−0,048
2	0,638	0,734	−0,096
5	1,916	1,835	+0,081
10	4,153	3,671	+0,482

2) Arterie:

a)	b)	c)	d)
1(0,236)	3,260	3,450	−0,190
2	6,630	6,900	−0,270
5	17,391	17,250	+0,141
10	36,413	34,500	+1,913 !

3) Nerv:

a)	b)	c)	d)
1(0,710)	0,716	0,716	+0,000
2	1,498	1,432	+0,066
5	3,615	3,581	+0,034
10	7,166	7,163	+0,003

1) Annales de Chemie et de Physique. 3. Ser. T. 12. S. 414 ff.

2) Ueber die Elasticität der organischen Gewebe. Verh. des naturh.-medic. Vereins zu Heidelberg. 1860. S. 39 und 40.

4) Muskel:

a)	b)	c)	d)
1(0,325)	1,212	1,090	+0,122
2	2,141	2,180	−0,039
5	6,505	5,451	+1,154 !
10	9,696	10,903	−1,207 !

Kupfer:

a)	b)	c)	d)
1(400)	0,292	0,302	−0,010
2	0,660	0,604	+0,056
3	0,997	0,906	+0,091
4	1,282	1,208	+0,074
5	1,562	1,510	+0,052

Eisen:

a)	b)	c)	d)
1(500)	0,273	0,257	+0,016
2	0,441	0,514	−0,073
3	0,753	0,771	−0,018
4	0,987	1,028	−0,041
6	1,445	1,546	−0,101

Gold:

a)	b)	c)	d)
1(400)	0,469	0,586	−0,117
1,5	0,910	0,879	+0,031
2	1,323	1,172	+0,151 !
2,625	1,848	1,539	+0,309 !

Silber:

a)	b)	c)	d)
1(100)	0,075	0,104	−0,029
2	0,302	0,208	+0,094
4	0,483	0,416	+0,067
8	0,966	0,832	+0,134
16	2,144	1,664	+0,480
20	2,673	2,080	+0,587

Wundt wollte durch diese Zahlen eine Proportionalität zwischen Gewichts- und Längenvermehrung, sowohl bei den organischen wie den unorganischen Körpern beweisen — ich finde aber, die Abweichungen zwischen beobachteter und berechneter Verlängerung sind recht erheblich. Sie erscheinen auf den ersten Blick bei den organischen Substanzen stärker — weil die

Ausdehnungen, infolge der geringeren Elasticität, viel grössere sind. Die Differenzen sind am kleinsten beim Nerv und haben dort alle dasselbe Vorzeichen, bei der Sehne und der Arterie finden wir: —, — +, +; beim Muskel: +, —, +, —.

Von den Metallen zeigen Gold und Silber übereinstimmend zuerst eine negative, dann nur positive und stetig anwachsende Differenzen, die Ausdehnungscurve verläuft also oberhalb der geraden Linie für die Proportionalität und zwar, abgesehen von der ersten Ziffer, nach unten convex, ähnlich wie beim Gummi, dem die beiden in Rede stehenden Metalle, was die Qualität der Elasticität betrifft, sehr viel näher stehen, als Eisen und Kupfer. Dieses letztere zeigt eine anfangs convexe, dann von der dritten Ziffer an concave Curve, während das Eisen, von den 8 Substanzen der vollkommenst elastische Körper, abgesehen von der positiven Differenz bei 1 und der Schwankung in der zweiten Zahl, stets sich vergössernde negative Differenzwerthe, d. h. einen negativen 2. Differentialquotienten, sonach eine nach unten concave Curve von 2—6, mit einer Anfangs-Convexität darbietet. Also, es handelt sich beim Eisen in der That von einer gewissen Grenze an um eine allmälig hinter der Belastung Schritt für Schritt zurückbleibende Ausdehnung, d. h. das Eisen steht in dieser Beziehung unseren Venen unter den 4 Metallen am nächsten, während Gold und Silber dem Gummi sich nähern. Die Curve für den Nerv sieht wiederum denen für Eisen und Vene ähnlich. — Specieller in diese Dinge einzugehen, ist hier nicht des Ortes.

Es sei nur zum Schluss dieser allgemeinen Betrachtungen gestattet, in Kürze einige Sätze aufzustellen, welche sich mir als sehr wahrscheinlich ergeben haben:

1) Das allgemeine Elasticitätsgesetz gilt für organische und unorganische Körper, die sich nur in Bezug auf den Grad (Elasticitätscoefficient) und die Vollkommenheit der Elasticität unterscheiden.

2) Dies Gesetz wird weder durch eine Linie ersten (gerade) noch 2. Grades (Parabel, Hyperbel, Ellipse) vollständig erschöpfend ausgedrückt, sondern durch eine Curve, deren Gleichung mindestens 3. Grades ist.

3) Diese Curve verläuft anfangs convex, dann concav (nach unten). Eine grössere Strecke derselben, nämlich die in der Nähe des Punktes gelegene, wo die Convexität in die Concavität,

der positive in den negativen 2. Differentialquotienten übergeht, erscheint als gerade Linie.

4) Mathematisch betrachtet ist es nur ein Punkt, der aber, da sich der Werth des 2. Differentialquotienten sehr langsam dem Nullwerth nähert und ebenso langsam von ihm entfernt, die Mitte eines Curvenabschnittes anzeigt, den man für eine gerade Linie gehalten hat. Hierauf reducirt sich die behauptete Proportionalität zwischen Spannung und Ausdehnung.

5) Darauf folgt ein Curvenstück, welches, für sich betrachtet, einer Parabel sehr genau entspricht.

V.

Eine Erscheinung von ausserordentlicher Bedeutung für die ganze Elasticitätslehre ist unbestritten die elastische Nachwirkung. Dieselbe hat meine Versuche an die Venen, wo sie sehr langsam verläuft, auf das empfindlichste gestört und erschwert und lag es nahe, bei einem weniger veränderlichen Körper, wie z. B. dem Gummi, Art und Verlauf derselben kennen zu lernen. Ja, da für die in der Tab. IX—XI mitgetheilten Versuche auf jede Nummer durchschnittlich weniger als 10 Minuten verwandt worden war, musste dem Vorwurf, dass die endliche Ausdehnung nicht abgewartet worden, begegnet werden. In der Versuchsreihe XII habe ich nun an demselben Stück Gummiband, an welchem Reihe XI angestellt war, den Grenzwerth für einige stärkere Belastungen, sowie die Zeit, welche nöthig ist, um ihn zu erreichen, wenigstens annähernd zu bestimmen gesucht.

Die Tabelle wird für alle Interessenten klar sein. Trotzdem hier nun für hohe Belastungen die Annäherung an den Grenzwerth, soweit es ging, versucht wurde, zeigt sich auch hier, dass die Verlängerungen bei den höheren Belastungen nicht mehr Schritt halten, dass der 2. Differentialquotient negativ wird.

Um nun aber ein Bild von dem zeitlichen Verlaufe der elastischen Nachwirkung bei fortgesetzter Belastung — oder von der Art und Weise, wie der Grenzwerth der Verlängerung zeitlich erreicht (oder vielmehr nicht erreicht) wird, zu erhalten, habe ich das Gummiband, (vor Versuch XII) einer länger andauernden constanten Belastung unterworfen, — das eine Mal (XIII) mit

111,5 Gramm 18 Stunden lang, das andere mit 31,5 Gramm 24 Stunden hängen lassen.

Tabelle XIII.

Gummiband, bei 2,0 Gramm = 63,0 lang; 6,0 breit; 0,875 dick. Constante Belastung mit 111,5 Gramm. 18 Stunden lang.

a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.	h.	i.	k.
Nr. des Versuches.	Zeitpunkt. Tag. Stunde Min.	Zeitdifferenz vom Anfang in Minuten.	Zeitdifferenz zwischen den Nr.	Länge bei constanter Belastung (111,5).	Differenz gegen Anfangslänge.	Länge-Differenzen für d.	Durchschnittl. Ausdehnung pro Minute = g/d.	Im Zeitstadium.	Differenzen bei h.
1	2. Juli 5.10 Nm.	0		85,2	0				
2	„ „ 5.28	18	18	87,0	1,8	1,8	0,10000	I : 10—18	
3	„ „ 5.48	38	20	88,05	2,85	1,05	0,05250	II : 18—38	0,04750
4	„ „ 6.04	54	16	88,35	3,15	0,3	0,01875	III ; 38—54	0,03375
5	„ „ 6.22	72	18	88,6	3,4	0,25	0,01388	IV : 54—72	0,00487
6	„ „ 6.40	90	18	88,8	3,6	0,2	0,01111	V : 72—90	0,00277
7	3. Juli 10.40 Vm.	1050	960	90,55	5,35	1,75	0,00182	VI : 90—1050	0,00929
8	„ „ 11.50	1120	70	fast 90,6	fast 5,4	fast 0,05			
9	„ „ 11.50			64,5 (gleich nach Entlastung)					
10	„ „ 5.20 Nm.[1]			63,0					

[1]) Also $5^1/_2$ St. nach Entlastung.

Tabelle XIV.

Gummiband, bei 2,0 Gramm = 63,0 lang; 6,0 breit; 0,875 dick. Constante Belastung auf 31,5 Gramm; ca. 24 Stunden lang.

Nr. des Versuches.	Zeitpunkt.	Länge bei Belastung (31,5).	Länge nach Entlastung.	Nachdehnung.	Nach Minuten.	Versuchsreihe.
1	5. Juli 10.15 Vm.	67,0			0,0	I.
2	„ „ 11.05	67,4	63,0	0,4	15	
3	„ „ 11.10	67,0			0,0	II.
4	„ „ 11.15	67,4	63,2	0,4	5	
5	„ „ 11.18		63,0			
6	„ „ 11.18!	67,0			0,0	III.
7	„ „ „ „ .30“	67,3		0,3	0,5	
8	„ „ 11.19!0“	67,4		0,4	1,0	
9	„ „ 11.35	67,6		0,6	17	
10	„ „ 12.05	67,65		0,65	47	
11	„ „ 1 Uhr.	67,65		0,65	102	
12	„ „ 3.50 Nm.	67,95		0,95	272	
13	5. Juli 10.30 Vm.	68,0		1,00	1392	

Tabellen und Curven (s. Tafel I, Curve XIII, XIV a und b) sprechen auch hier so deutlich, dass es nur ganz kurzer Bemerkungen dazu bedarf. [1])

Bei XIII sind die Ablesungen in grösseren Pausen (18 Minuten in den ersten $1\frac{1}{2}$ Stunden) gemacht worden; daher ist hier das Bild noch nicht so frappant wie bei XIV, wo die Pausen ganz zu Anfang kleiner waren. Uebrigens umfasst Curve XIII nur die ersten 90 Minuten der Beobachtungsreihe XIII. Tabelle XIV enthält 3 Versuchsreihen mit demselben Gummiband wie bei XIII, bei constanter Belastung von 31,5. Die erste Ablesung ist, soweit es möglich, im Augenblick der Belastung

[1]) Für die Zeichnung der Curven ist die Zeit auf der Abscissenaxe, die Verlängerungen als Ordinaten aufgetragen. Bei Curve XIII ist der Massstab für die Abscissen: 1 Minute = 1 Mm.; Ordinaten: 1 Mm. Verlängerung = 10 Mm. Bei XIVa: Abscissen: 1 Minute = 5 Mm.; XIVb: 1 Minute = 0,5 Mm.; der Massstab für die Zeit hier also 10 Mal kleiner, Ordinaten bei XIV, a und b, 0,1 Mm. Verlängerung durch 10 Mm. dargestellt, also 100-fache Vergrösserung.

gemacht worden; ob die Ziffer hier ganz genau, ist allerdings problematisch, da bekanntlich Niemand im Stande ist, ohne dass Bruchtheile einer Secunde verfliessen, eine Beobachtung auszuführen. Die Zeit vollständig zu elimiren, haben wir Sterblichen nun einmal nicht die Macht. Dass es aber annähernd gelungen, dürfte aus der 3maligen genauen Uebereinstimmung bei der ersten Ablesung (No. 1, 3, 6 = 67,0) erhellen. Die Zeit zwischen erster und zweiter Ablesung wurde bei den drei Versuchen immer kleiner genommen; zuerst 15, dann 5, dann 0,5 Minuten. Beim 3. Mal gelang es, zu constatiren, dass bereits nach einer halben Minute eine Verlängerung um 0,3 Mm. eingetreten war — um diese zu verdoppeln, bedurfte es fernerer 16,5 Minuten, sie zu verdreifachen, über 200 Minuten. Die Verlängerung bei der Belastung des Gummi verläuft demnach anfangs ganz unverhältnissmässig schnell, die Curve steigt mit enormer Steilheit in die Höhe, biegt dann sehr bald und energisch um, so dass die späteren Zunahmen ausserordentlich geringfügig sind. Wahrscheinlich geht die Curve in dieser Weise, mit stetig abnehmendem Wachsthum (negativem 2. Diff.-Quotienten) fort, ohne jemals in eine gerade, der Abscissenaxe parallele Linie überzugehen. Ihren Grenzwerth würde die Verlängerung also erst in der Unendlichkeit erreichen.

Für alle vorhergehenden Versuche nun, am Gummi wie an den Venen, ist der also constatirte zeitliche Verlauf der Ausdehnung von grösster Bedeutung. Während wir allerdings einerseits sehen, dass wir den Grenzwerth niemals mathematisch genau bestimmen können — ist es andrerseits ausserordentlich trostreich zu sehen, dass bereits in den ersten Minuten, wenigstens bei mittleren Belastungen, der Endwerth nahezu erreicht wird.

Der Verlauf der Curve ist nun ein derartig complicirter, dass eine genaue Berechnung der definitiven Verlängerung aus einer bestimmten, nach einer gewissen Zeit beobachteten, einstweilen noch nicht möglich erscheint. Jedenfalls dürfte die Curve für verschiedene Belastungen nicht genau übereinstimmend verlaufen, d. h. die Constante wird verschieden gross sein, und müsste dieselbe für alle möglichen Gewichte und wohl auch für die verschiedenen Körper empirisch gefunden werden. Uebrigens stimmen meine Curven mit den von W. Weber (Annalen 1841, Taf. I, Fig. 2) für die Seide gegebenen sehr gut überein. —

Ausserdem aber scheint mir auch eine bemerkenswerthe Uebereinstimmung zwischen den Zeitcurven und den Ausdehnungs-

curven für Venen, Gummi, Eisen o. a. vorhanden zu sein, wenn wir von den Anfangsstadien einstweilen absehen. Da aber weder W. Weber's, geschweige denn meine eigenen Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der Nachwirkung in den ersten Secunden und Secundentheilen genau genug sind, so ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass, bei Anwendung feinerer Methoden, auch hier für die allerersten Anfänge der Zeitcurve eine nach unten convexe Strecke sich ergäbe.

Die Aehnlichkeit in den übrigen Theilen der beiden Curven-Arten spricht dafür. Das Elasticitätsgesetz wäre dann für Raum und Zeit dasselbe. — Jedenfalls besteht ebenso wenig eine Proportionalität zwischen der Ausdehnung und Belastung bei constanter Zeit, wie das bisher allgemein angenommen wurde, als eine Proportionalität zwischen Ausdehnung und Zeit, bei constanter Belastung, wie sie noch Gauss angenommen hat.

VI.

Wenden wir uns zum Schluss speciell wieder zu den Venen!

Aus den Versuchen geht hervor, dass ihre Elasticität eine geringere ist, als die vieler anderer organischer Substanzen, z. B. Muskel, Nerv u. a. Sie dehnen sich also bei gleicher Belastung und sonst gleichen Bedingungen auf die Grösseneinheit mehr aus, als viele andere Bestandtheile des Organismus. Die Ausdehnbarkeit ist eine grosse, die Elasticität resp. der Elasticitätscoefficient ein kleiner. Eine andere Frage, gegenüber dieser quantitativen, ist die nach der Vollkommenheit der Elasticität, nach der qualitativen Beschaffenheit. Hierher gehört vor Allem die Untersuchung über die Elasticitätsgrenze, die Bestimmung der grösstmöglichen Belastung, welche die Vene ohne jeglichen merkbaren Schaden, ohne bleibende Störung ihrer elastischen Eigenschaften ertragen kann. Ich glaube, aus meinen Untersuchungen das Resultat ableiten zu können, dass die Elasticitätsgrenze sehr weit hinausliegt, dass die Venen sehr grosse Belastungen ertragen, ehe ihre Elasticität leidet. Es scheint übrigens diese Grenze für die verschiedenen Venen nicht dieselbe zu sein; ich sage „es scheint", deshalb weil ich keine genauen Volumbestimmungen habe, die als Grundlage für die Feststellung der Grösseneinheit dienen müssten. Ich kann deshalb nur die bei den einzelnen Venen experimentell gefundenen Zahlen für die

Maximal-Belastungen und -Ausdehnungen vergleichen, nach denen eine vollständige Zusammenziehung der Venen in allerdings oft sehr langer Zeit eintrat, — Ausdehnungen also, die, soweit nachweisbar, die Elasticität intact gelassen hatten. Eine allgemeine Giltigkeit dieser Zahlen beanspruche ich insofern nicht, als erstens sehr beträchtliche Schwankungen nach Alter, Habitus, Individuum vorkommen — und es ferner selbst bei einer bestimmt gegebenen Vene aus höheren Gründen, die bereits oben entwickelt wurden, praktisch so gut wie unmöglich ist, abzuwarten, ob dieselbe vollständig wieder auf ihre frühere Länge zurückgeht. Deshalb können die Zahlen, wie sie z. B. Braune gegeben hat (l. c. S. VIII u. IX) ebenso wie die von mir gefundenen Werthe nur als allgemeiner Anhalt dienen. Variiren dieselben doch so, dass man gewiss einige sehr kleine und sehr grosse Zahlen ausser Acht lassen muss! Ich stelle die von Braune und mir gefundenen Werthe hier übersichtlich zusammen; I—V sind die von Braune, A—C die von mir untersuchten Cadaver, alle 8 nach dem Lebensalter geordnet; die Zahlen zeigen die Verlängerung in Procenten an, bis zu welcher die Elasticität vollkommen war, resp. bis zu welcher eine Abnahme der Elasticität in erkennbarer Weise nicht stattfand. Meine eigenen Zahlen sind meist Minimalwerthe, da die Elasticitätsgrenze nicht immer erreicht wurde.

Venen:	II. 13½ J.	I. 15 J.	A.	B. 39 J.	C.	IV.	III. 46 J.	V. 58 J.
Saphena	91,3	61,1	a[1]) 41,7 b 60,4	55,7			46	5,6
Cephalica			45,9		57	51,4		16,2
Iug. int.		47,4				43,4	10	5,6
Cava inf.	45,9	32,4				40	5,2	
Ast der Saphena.			48,0					
Basilica			60,1					
Muskelast der Brachialis.				64,6				

[1]) a. Unterschenkel, b. Oberschenkel.

Meine Zahlen, die alle von normalen Leichen mittleren Alters stammen, schwanken relativ wenig. Die für Saphena am Unterschenkel, und Cephalica angegebenen Zahlen von Leiche A sind Minimalangaben. Im Uebrigen finden sich überall Werthe von 50—60 %, die mit einem grossen Theil von Braune's Zahlen gut übereinstimmen. Unterschiede für bestimmte Venen aus diesen wenigen Versuchen festzustellen, erscheint verfrüht; es hat allerdings den Anschein, als wenn die Venen der oberen Extremität elastisch mehr leisteten, als die der unteren, tiefe Venen mehr wie Hautvenen. Dieser Punkt ist gewiss interessant, aber wie gesagt, ausserordentlich schwierig für die Untersuchung. Er wird in späteren Mittheilungen von der histologischen Seite beleuchtet werden. Jedenfalls sind wir aber doch durch die vorliegenden Versuche zu dem Satze berechtigt: Venen von normalen, nicht zu alten Personen können, ohne dass die Elasticitätsgrenze überschritten wird, bis mindestens 50 % ausgedehnt werden. Eine Verlängerung um 40 % wird höchst wahrscheinlich, wenigstens bei Extremitätenvenen, niemals diese Grenze auch nur berühren. Dass bei Krankheiten und im Alter die Elasticitätsgrenzen sehr viel enger gezogen sind, zeigen die mannigfachen Störungen der nervösen Circulation, die oft bedenklichen anatomischen Veränderungen, welche wiederholtem oder dauerndem Ueberschreiten dieser Grenze nachfolgen. Wenn man das ganze Heer der hierher gehörenden Krankheiten in's Auge fasst, so ergiebt sich die praktische Wichtigkeit der Elasticitätsgrenze und ihre möglichst genaue Bestimmung für verschiedene Venen, Lebensalter, Krankheiten von selbst.

Selbstverständlich ist nun vor allen Dingen die Frage zu untersuchen, in welchem Grade die Venen innerhalb des ruhenden und des sich bewegenden Körpers in Bezug auf Elasticität beansprucht sind. Hier ist zu unterscheiden die Beanspruchung in der Längsaxe und im Querschnitt, also die Ausdehnung in der Länge und diejenige in der Dicke. Was zunächst die Längenausdehnung betrifft, weise ich auf die schönen Untersuchungen von Braune hin, denen ich aus eigener Erfahrung noch Einiges hinzufügen möchte. Bei der Herausnahme von Venen aus der Leiche stellte ich vor und nach der Durchschneidung der Gefässe Messungen an, die sehr bedeutende Differenzen ergaben. Nehmen wir die kleinere Länge, nach der Herausnahme, als Anfangslänge und die grössere, vor der Durchschneidung, als Aus-

dehnung, analog den obigen Belastungsversuchen, so fand sich z. B. bei der Saphena magna an Leiche C:

An Fuss und Unterschenkel: 440 Mm. vor, 380 nach Durchschneidung, oder, letzteres als Anfängslänge gesetzt, eine Ausdehnung um 15,8 %, nach meinen Belastungsversuchen einer Belastung von 4,0 Gramm entsprechend.

Am Oberschenkel ergab sich für dieselbe Vene: 310 und 250 Mm., oder Ausdehnung um 24,0 %, gleich einer Belastung von fast 8,0 Gramm.

Versuchsreihe IV: 8,0 Gramm Belastung = 25,0 %,
Versuchsreihe VII: 8,0 Gramm Belastung = 24,7 % Ausdehnung.

An Leiche D (kräftiger Mann, Mitte der 30., Selbstmörder) betrug die Länge der Saphena vom Malleolus bis zur Einmündung, bei gestrecktem Hüft- und Kniegelenk 866 Mm., fünf Minuten nach der Durchschneidung 675 Mm, also 191 weniger. Dies ergiebt (675 als Anfangslänge) eine Ausdehnung um 28,3 %, gleich einer Belastung von fast 10 Grammen (nach Reihe IV und VII).

An Leiche E mass die 4 Mm. breite Cephalica vom Handgelenk bis zur Mitte des Oberarms 385 Mm. vor, 310 nach der Durchschneidung, macht 41,3 % Ausdehnung, = Belastung von ca. 20 Grammen. (V. R. II: 19,0 Gramm = 41,5 %; V. R. VIII: 20,0 Gramm = 42,3 %.) Die Leiche lag in gewöhnlicher Rückenlage, Hüftgelenk ganz, Ellenbogen und Handgelenk fast ganz gestreckt, im Fuss rechtwinklich gebeugt. Derartige Versuche habe ich auch noch an anderen Venen, aber noch nicht in solcher Anzahl angestellt, dass ich brauchbare Mittelwerthe angeben könnte. Deshalb hier nur diese Beispiele. Soviel steht aber bereits fest, dass die Venen fortdauernd gespannt sind, auch bei gebeugten Gelenken; nur der Grad der Spannung ändert sich, er sinkt aber nie bis auf Null herab, ganz abgesehen noch von der Spannung im Querschnitt, durch den Blutdruck. Die Venen sind somit fortdauernd auf Zug beansprucht, haben permanent die Tendenz, sich zusammenziehen, zunächst in der Längsaxenrichtung; aber meist auch in der Richtung senkrecht zu derselben, wie ich mich bei der Loslösung der Venen aus der Umgebung überzeugt habe.

Aus diesen Thatsachen folgt Mancherlei, was theoretisch und praktisch wichtig ist. Das Zurückgehen der Vene in der Längsrichtung bei Entlastung bedarf einer gewissen Zeit, ebenso wie die definitive Längenausdehnung bei Belastung. Die Entlastung

kann eintreten als Entspannung bei der Herausnahme eines Stückes aus der Continuität — vollständige Entlastung, bis auf das halbe Eigengewicht bei hängender Vene — oder als unvollständige Entlastung bei der Beugung der Gelenke. Diesem Mehr oder Weniger von Belastung muss jedesmal eine bestimmte Länge der Vene entsprechen, bei Belastungsänderung muss also Längenänderung eintreten. Es ist nur die Frage: hat die Vene jedesmal die Zeit, um der veränderten Belastung nachzukommen? Kann nicht, bevor die neue Gleichgewichtslage erreicht ist, eine Spannung in entgengesetztem Sinne dazwischen treten? Auf die erste Frage ist „Nein" — auf die zweite „Ja" zu antworten. Bei nur einigermassen schnellen und ausgiebigen Bewegungen unserer Extremitäten ist es absolut unmöglich, dass die Vene kraft ihrer Elasticität im Gleichgewicht zwischen Spannung und Ausdehnung bleibe. Bei sehr kleinen Bewegungen oder sehr langsam vor sich gehenden ist es möglich; sobald aber nur einer dieser Factoren, die Zeit oder die Belastung, einigermassen in's Gewicht fällt, d. h. die Zeit gering und die letztere erheblich wird, muss ein Missverhältniss eintreten. Wir haben dann eine latente Spannung, die eine positive und negative sein kann, wir würden die Venen in allen möglichen Stadien der elastischen Nachwirkung antreffen müssen, wenn wir ihren momentanen Zustand direct erforschen könnten — falls es eben nicht eine besondere Einrichtung im Organismus gibt, welche der Elasticität der Vene zu Hülfe kommt. Diese Function haben, wie ich das hier nur kurz andeute, die Muskeln der Wandung. Eine specielle Begründung und Anwendung dieses Satzes auch in Bezug auf den Druck der Blutsäule im Innern der Vene, muss einer besonderen Abhandlung über die Structur der Venenwandung vorbehalten bleiben.

Sehr störend wirken die besprochenen Verhältnisse bei Versuchen, wo es, wie bei den meinigen, auf eine genaue Bestimmung der Anfangslänge ankommt. Sehr bald nach der Herausnahme ist das gar nicht möglich, da die Herstellung des Gleichgewichtes nach der Entspannung geraume Zeit erfordert, zumal bei Venen, die in der Leiche über die mittlere Spannung hinaus gedehnt waren. Die Vene ist dann also noch in der Verkürzung begriffen und müsste eigentlich abgewartet werden, bis diese vollendet ist. Das ist vielleicht nicht immer geschehen, obwohl es mög-

lichst angestrebt wurde. Somit wäre hier eine neue Fehlerquelle zu beachten. Ist die Vene aber in's Gleichgewicht gelangt, so wird wieder die Messung der Länge deshalb erschwert, weil die Vene sehr oft Abweichungen von der geraden Linie aufweist und sie ist oft etwas geschlängelt, auch wenn man sie frei aufhängt, d. h. das halbe Eigengewicht (0,3—0,4—0,5 und mehr, bei 50-80 Mm. Länge) genügt nicht zur Herstellung einer geradlinigen Längsaxe, diese wird erst mit Hülfe kleiner Gewichte erzielt. Vielleicht war in solchen Fällen die Vene bei der Verkürzung unter die Gleichgewichtslage hinabgegangen, eine nicht von der Hand zu weisende Möglichkeit, die durch ein Ereigniss bei meiner 7. Versuchsreihe nicht unwahrscheinlich wird. Die Vene verkürzte sich dort nach den Belastungsversuchen innerhalb 24 St. soweit, dass sie statt 75,0 Mm., wie vor den Versuchen, am andern Tage 68,0 mass. Man könnte dies aber auch der Quellung im Jodserum zur Last legen; zu berücksichtigen ist die Verkürzung bei der Quellung ganz gewiss [1]); nur ist die Frage, wieviel kommt auf ihre Rechnung, wieviel auf die rein elastische Verkürzung. Diese Frage kann ich nach meinen Versuchen aus dem Grunde nicht strict beantworten, weil ich die Venen, wenn sie längere Zeit unbelastet waren, um die Austrocknung zu verhüten, stets in Jodserum legte. Auch die Aufbewahrung der Venen vor den Versuchen geschah meist in dieser Flüssigkeit, und könnte hier eine Fehlerquelle zu constatiren sein. Meines Erachtens besteht hier, wenn wir uns zunächst streng an die rein physikalische Untersuchung der Vene halten, allerdings eine Fehlerquelle, aber eine solche, die andere Fehler, welche die Untersuchung der todten Venen unabwendbar mit sich bringt, wieder aufhebt; oder mit anderen Worten, durch die Anwendung des Serum werden die physikalischen Versuche zu physiologischen, — und wir können die Resultate direct auf den lebenden Organismus übertragen.

Es tritt uns hier ein zweiter wesentlicher Factor entgegen, der im Organismus den rein physikalischen, d. h. speciell elastischen Kräften zu Hülfe kommt. Ein physikalischer Prozess ist ja schliesslich die Durchtränkung mit Serum und die dadurch herbeigeführte Quellung auch, aber ein nur innerhalb des Lebens wirkender, während die elastischen Kräfte den Tod überdauern; und wir

[1]) Vgl. H. Quincke, über Imbibition (Wasser). Pflüger's Archiv III, 1870. S. 332-338.

sehen ja, dass wir im Stande sind, künstlich auch diese Kräfte noch nach dem Tode wirken zu lassen.

Trotzdem möchte ich aber diese beiden physikalischen Erscheinungen trennen und einander in dem obigen Sinne gegenüberstellen. Beide wirken unabhängig von einander und beeinflussen sich gegenseitig. Die Ausdehnung der Venenwand wirkt auf die Menge der darin enthaltenen Flüssigkeit und das durchtränkende Serum stört andererseits die Wirkung der Elasticität, aber immer nur in dem einen Sinne, dass es auf eine Verkürzung hinarbeitet, also die negative elastische Nachwirkung unterstützt, sie vervollständigt und beschleunigt.

Man sieht, es eröffnet sich hier ein weites Gebiet für die fernere Forschung. Vor Allem wird es nothwendig sein, zunächst den mikroskopischen Bau der Venenwandung näher, als bisher geschehen, kennen zu lernen. Es wird sich dann zeigen, ob dasselbe mit den hier abgehandelten elastischen und anderen mechanischen Verhältnissen der Venen in Beziehung steht. Mit dieser Frage soll sich ein fernerer Beitrag zur Kenntniss des Venensystems beschäftigen.

Jena, den 16. August 1877.

Erklärung der Tafel I.

Die Curven sind nach den auf Millimeterpapier gezeichneten Originalen auf die aus äusseren Gründen nur in Centimeter eingetheilte Tafel lithographirt. — Um Raum zu sparen, sind die Curven nahe an einander gerückt worden. Die im Original auf den Coordinatenaxen aufgetragenen Zahlen (die Längen auf der Ordinaten-, die Gewichte resp. Zeittheile auf der Abscissenaxe) mussten in Folge dessen, um Verwechselungen oder doch Unklarheiten vorzubeugen, dicht an die Curven herangesetzt werden. Die unterhalb der Curven an den senkrechten Linien stehenden Zahlen sind demnach die ursprünglich auf der Abscissenaxe abgetragenen, die oberhalb der Curven an den horizontalen Linien befindlichen gelten für die im Original auf der Ordinatenaxe angebrachten.

Die Curven tragen dieselben Nummern, wie die Versuchsreihen, die sie darstellen (vgl. S. 33, unten). Die Curven III, IV, VI, VIII beziehen sich demnach auf die Versuche an Venen, XI—XI auf die an Gummi, XIII, XIVa und b zeigen den zeitlichen Verlauf der Nachdehnung bei constanter Belastung.

Curve III. Hautvene, Ast der V. saphena magna, vom Oberschenkel. Massstab: Abscissen: 1 Cm. = 1 Gr. Belastung. Ordinaten: 1 Cm. = 5 % Ausdehnung. Der O-Punkt des Coordinatensystems repräsentirt den Zustand der Vene von 100,0 Mm. Länge bei 0,0 Gr. Belastung (d. h. eigentlich, mit dem halben Eigengewicht). S. a. S. 34.

Curve IV. V. saphena magna, Oberschenkel. Abscissen: 1 Cm. = 5 Gr.; Ordinaten: 1 Cm. = 5% Ausdehnung. O-Punkt wie bei III.

Curve VI. Muskelvene aus dem Biceps brachii, Ast der V. brachialis. Abscissen: 5 Cm. = 1 Gr.; Ordinaten: 1 Cm. = 1 Mm. Ausdehnung. Der O-Punkt stellt hier die ursprüngliche directe Länge der Vene (15,8 Mm.) ohne Belastung dar.

Curve VIII. V. cephalica, Oberarm. Massstab und O-Punkt wie bei IV.

Curven IXa u. b. Cylindrischer Gummistrang. IXa Belastung bis zu 100 Gr. (Nr. 1—14 der Tabelle IX, S. 47.) Abscissen: 1 Mm. = 1 Gr. Belastung; Ordinaten: 1 Cm. = 20% Ausdehnung. IXb Belastung bis 500 Gr. Abscissen: 1 Cm. = 50 Gr.; Ordinaten: 1 Cm. = 50% Ausdehnung.

Curve X. Gummiband. Abscissen: 1 Cm. = 20 Gr.; Ordinaten: 1 Cm. = 20% Ausdehnung.

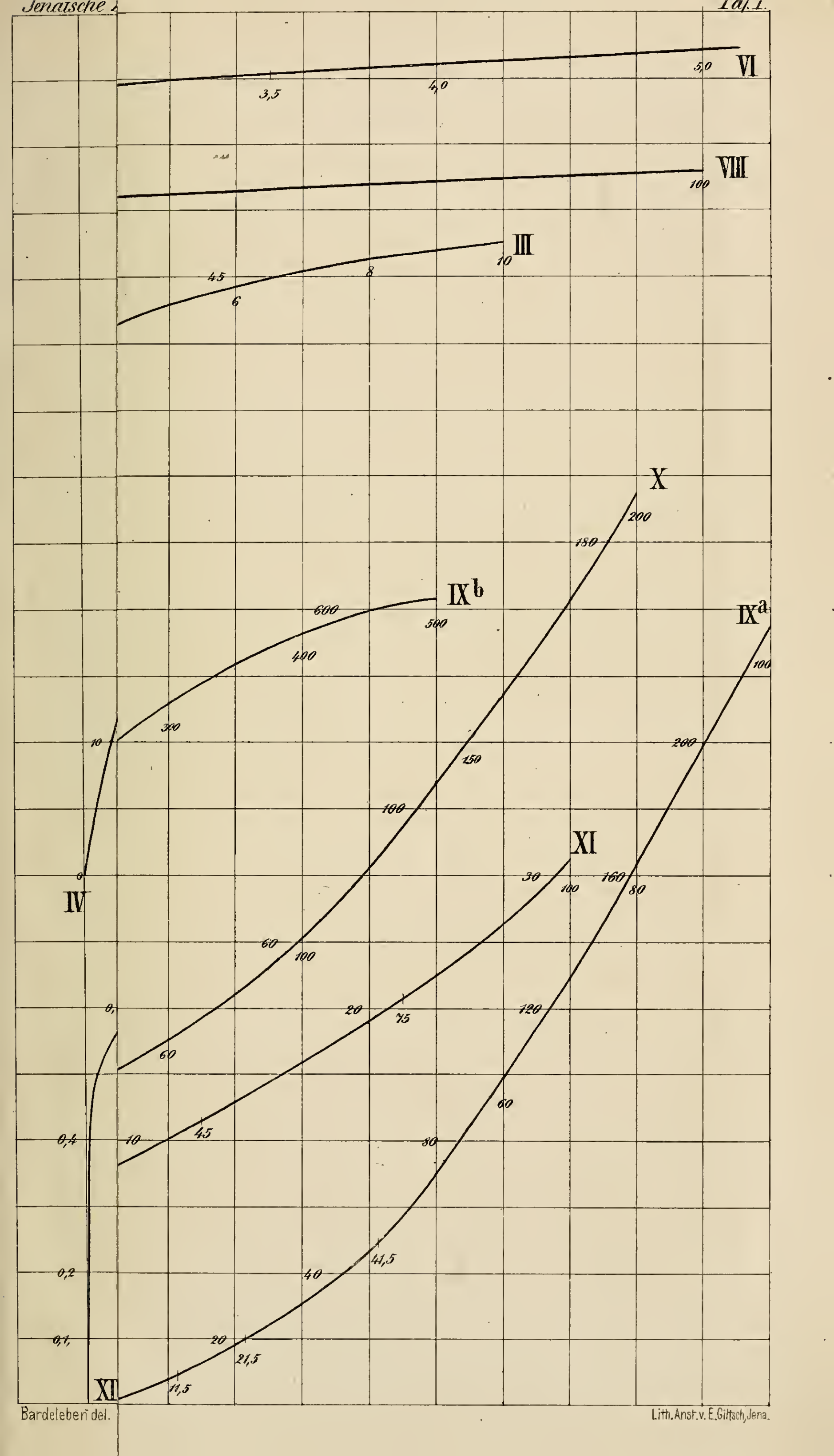
Curve XI. Gummiband. Abscissen: 1 Cm. = 10 Gr.; Ordinaten: 1 Cm. = 5% Ausdehnung.

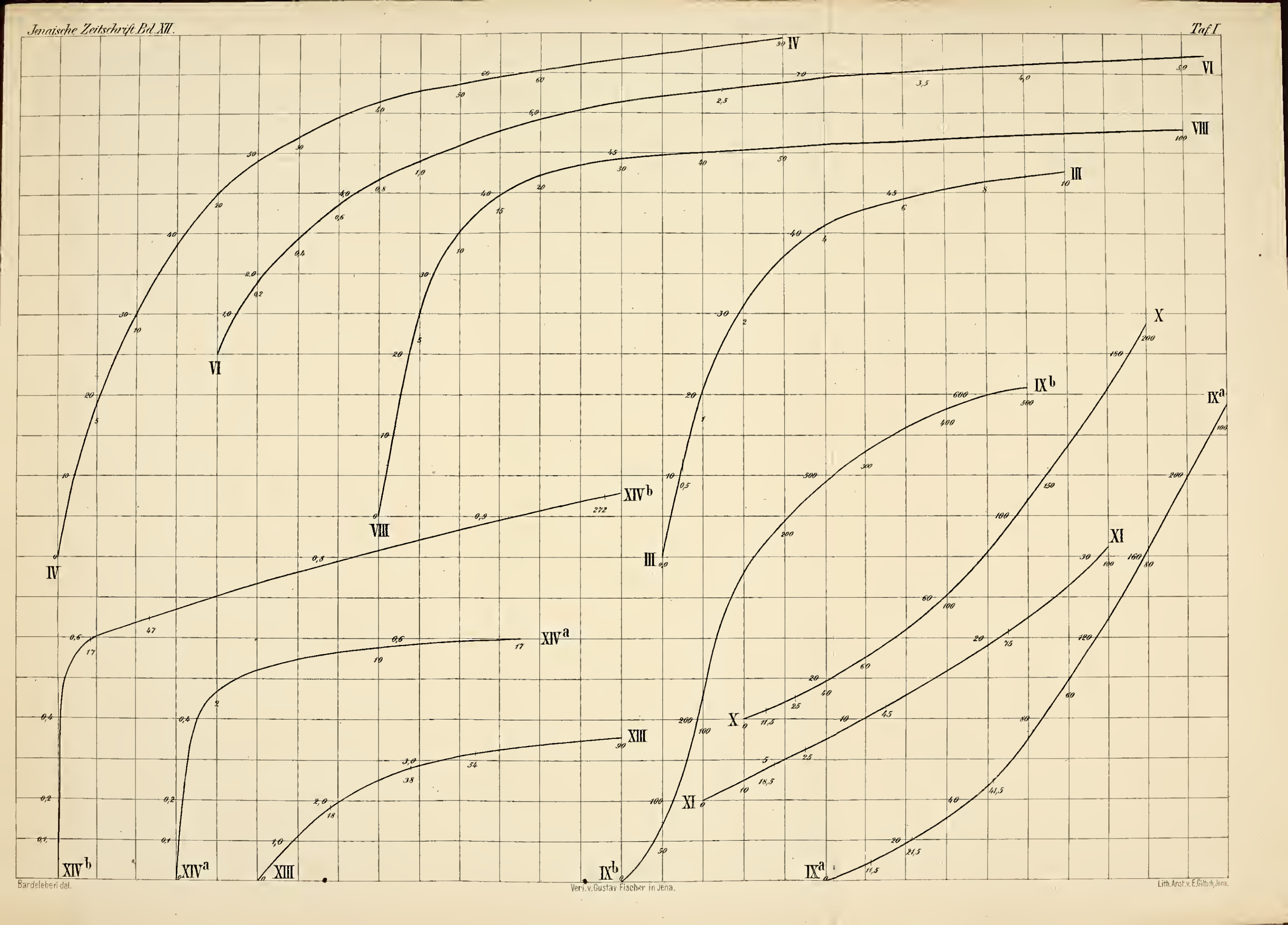
Curve XIII. Die ersten 90 Minuten von Reihe XIII. Abscissen: 1 Mm. = 1 Minute; Ordinaten: 1 Cm. = 1,0 Mm. Ausdehnung.

Curve XIVa. Die ersten 17 Minuten von Reihe XIV. Abscissen: 1 Cm. = 2 Minuten; Ordinaten: 1 Cm. = 0,1 Mm. Ausdehnung.

Curve XIVb. Die ersten 272 Minuten von Reihe XIV. Abscissen: 1 Cm. = 20 Minuten: Ordinaten: 1 Cm. = 0,1 Mm. Ausdehnung.

Im Uebrigen verweise ich auf den Text, besonders die Tabellen.


VI
3,5
4,0
5,0
VIII
100
III
4,5
6
8
10
X
200
180
IX b
600
500
400
300
10
IX a
100
200
150
100
XI
30
100
160
80
0
IV
60
100
20
75
120
0,
60
60
0,4
10
45
80
0,2
40
41,5
0,1
20
21,5
11,5
XI



Bardeleben del.

Verl. v. Gustav Fischer in Jena.

Lith. Anst. v. E. Giltsch, Jena.



